



Région
PACA



UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE

ECOLE DOCTORALE 356 : COGNITION, LANGAGE, EDUCATION

REGION PROVENCE-ALPES-COTE-D'AZUR ET SOCIETE SQLAB

LABORATOIRE PAROLE ET LANGAGE, UMR 7309

Thèse présentée pour obtenir le grade universitaire de docteur

Discipline : sciences du langage

Camille ROBIEUX

Effort phonatoire et effort articulatoire selon le voisement
des consonnes orales du français

Phonatory effort and articulatory effort according to the voicing of
oral consonants in French

Soutenue le 19/12/2017 devant le jury :

Lise CREVIER-BUCHMAN	LPP, UMR 7018, Paris	Rapporteur
Béatrice VAXELAIRE	LiLPa, EA 1339, Strasbourg	Rapporteur
Claire PILLOT-LOISEAU	LPP, UMR 7018, Paris	Examineur
Noël NGUYEN	LPL, UMR 7309, Aix-en-Provence	Examineur
Christine MEUNIER	LPL, UMR 7009, Aix-en-Provence	Directeur de thèse

Numéro national de thèse/suffixe local : 2017AIXM0443/036ED356

*Je remercie tous les participants,
Particulièrement Emmanuelle, Cyril, Madelyne, Florian, Laure et Sylvain*

Table des matières

Table des matières.....	3
Partie I : Propos et hypothèses	9
1. Introduction.....	10
2. La parole	14
2.1. Anatomie.....	15
2.1.1. Sous-glottique.....	15
2.1.2. Glottique.....	16
2.1.2.1. Structures.....	16
2.1.2.2. Muscles.....	18
2.1.2.3. Nerfs.....	23
2.1.2.4. Glotte.....	24
2.1.3. Sus-glottique.....	26
2.2. Physiologie.....	27
2.2.1. Phonation.....	27
2.2.1.1. Prérequis.....	29
2.2.1.2. Qualités vibratoires des plis vocaux.....	30
2.2.1.3. Mécanismes.....	31
2.2.2. Vocalisation.....	33
2.2.3. Articulation.....	34
2.2.3.1. Phonèmes.....	34
2.2.3.2. Gestes.....	37
2.2.3.3. Transitions.....	41
2.3. Pathologie.....	42
2.3.1. Dysfonctions.....	42
2.3.2. Dysphonies.....	44
2.3.3. Lésions.....	45
3. L'effort.....	46
3.1. Définition.....	47
3.1.1. Sous-glottique.....	47
3.1.2. Glottique : Effort phonatoire.....	48
3.1.3. Sus-glottique.....	49
3.1.3.1. Effort vocal.....	49
3.1.3.2. Effort articulaire.....	50
3.2. Elicitation.....	50
3.2.1. Manière.....	51
3.2.1.1. Intensité.....	51
3.2.1.2. Hauteur.....	52
3.2.1.3. Qualité.....	53
3.2.2. Durée.....	54

3.3. Evaluation	55
3.3.1. Mesures perceptives	55
3.3.1.1. Echelles	56
3.3.1.2. Comparaisons	57
3.3.2. Mesures physiques.....	61
3.3.2.1. Physiologiques.....	61
3.3.2.2. Aérodynamiques.....	63
3.3.2.3. Acoustiques	69
4. Propositions.....	74
4.1. Problèmes identifiés	75
4.1.1. Effort phonatoire et qualités vibratoires.....	75
4.1.1.1. Phonation anormale	75
4.1.1.2. Phonation normale	76
4.1.2. Effort phonatoire et effort articulatoire.....	80
4.2. Dispositions prises.....	81
4.3. Hypothèses	82
4.3.1. Nouvelle mesure perceptives.....	82
4.3.2. Nouvelle mesure acoustique	83
Partie II : Expériences et résultats	84
5. Dispositif expérimental.....	85
5.1. Participants.....	86
5.1.1. Témoins.....	86
5.1.1.1. Variables indépendantes	86
5.1.1.2. Autres facteurs de variation	92
5.1.2. Locuteurs : Expérience n°3.....	97
5.1.3. Patients : Expérience n°6.....	97
5.2. Matériel linguistique.....	99
5.2.1. Consonnes	99
5.2.1.1. En perception.....	101
5.2.1.2. En production	105
5.2.2. Types de parole et de voix	107
5.2.2.1. En perception.....	108
5.2.2.2. En production	110
5.3. Méthode	111
5.3.1. Recueil des données.....	112
5.3.1.1. Auto-perception.....	112
5.3.1.2. Hétéro-perception : Expérience n°3	117
5.3.1.3. Production.....	118
5.3.1.4. Clinique : Expérience n°6.....	121
5.3.2. Traitements des données.....	123
5.3.2.1. Perceptives.....	124
5.3.2.2. Physiques.....	125
5.3.3. Analyses des données	129
5.3.3.1. Groupes	130

5.3.3.2. Cas : Expérience n°6.....	135
6. Résultats perceptifs	137
6.1. Comparaisons de l'item.....	138
6.1.1. Expérience n°1	139
6.1.1.1. Avec consonnes isolées	139
6.1.1.2. En excluant les consonnes isolées.....	139
6.1.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées).....	140
6.1.2.1. Pour tous les participants	140
6.1.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1.....	141
6.1.3. Expérience n°3	142
6.1.3.1. Pour tous les participants	142
6.1.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1.....	143
6.1.4. Résumé.....	144
6.2. Comparaisons de la structure.....	144
6.2.1. Expérience n°1	145
6.2.1.1. Avec consonnes isolées	145
6.2.1.2. En excluant les consonnes isolées.....	146
6.2.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées).....	149
6.2.2.1. Pour tous les participants	149
6.2.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1.....	152
6.2.3. Expérience n°3	152
6.2.3.1. Pour tous les participants	152
6.2.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1.....	155
6.2.4. Résumé.....	156
6.3. Comparaisons de la consonne.....	157
6.3.1. Expérience n°1	157
6.3.1.1. Avec consonnes isolées	157
6.3.1.2. En excluant les consonnes isolées.....	158
6.3.1.3. Consonnes étudiées dans l'expérience n°4.....	162
6.3.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées).....	163
6.3.2.1. Pour tous les participants	163
6.3.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1.....	164
6.3.3. Expérience n°3	166
6.3.3.1. Pour tous les participants	166
6.3.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1.....	167
6.3.4. Résumé.....	169
6.4. Comparaisons du voisement.....	170
6.4.1. Expérience n°1	171
6.4.1.1. Toutes les consonnes	171
6.4.1.2. Fricatives labiodentales.....	174
6.4.1.3. Occlusives bilabiales.....	175
6.4.1.4. Fricatives apico-alvéolaires	176
6.4.1.5. Occlusives apico-alvéolaires.....	177
6.4.1.6. Fricatives apico-post-alvéolaires.....	178
6.4.1.7. Occlusives dorso-vélaires	179
6.4.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées).....	180

6.4.2.1. Pour tous les participants	180
6.4.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1	181
6.4.3. Expérience n°3	182
6.4.3.1. Pour tous les participants	182
6.4.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1	187
6.4.4. Résumé	188
6.5. Comparaisons du mode articulaire	189
6.5.1. Expérience n°1	190
6.5.1.1. Avec consonnes isolées	190
6.5.1.2. En excluant les consonnes isolées	192
6.5.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées)	196
6.5.2.1. Pour tous les participants	196
6.5.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1	198
6.5.3. Expérience n°3	198
6.5.3.1. Pour tous les participants	198
6.5.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1	201
6.5.4. Résumé	202
6.6. Comparaisons du lieu articulaire	203
6.6.1. Expérience n°1	203
6.6.1.1. Avec consonnes isolées	203
6.6.1.2. En excluant les consonnes isolées	204
6.6.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées)	207
6.6.2.1. Pour tous les participants	207
6.6.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1	208
6.6.3. Expérience n°3	209
6.6.3.1. Pour tous les participants	209
6.6.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1	212
6.6.4. Résumé	213
7. Résultats physiques	214
7.1. Acoustiques : Indices de sélection	215
7.1.1. Expérience n°4	215
7.1.1.1. Parole et voix usuelles	216
7.1.1.2. Autres types de voix	218
7.1.1.3. Voix sélectionnées	228
7.1.1.4. Autres types de parole	231
7.1.1.5. Résumé	233
7.1.2. Expérience n°5	234
7.1.2.1. Parole et voix usuelles	235
7.1.2.2. Autres types de voix	238
7.1.2.3. Voix sélectionnées	241
7.1.3. Résumé	243
7.2. Aérodynamiques et physiologiques : Expérience n°4	244
7.2.1. Articulateurs	244
7.2.1.1. Pression mécanique de contact	244
7.2.1.2. Résistance articulaire	247
7.2.1.3. Résumé	249

7.2.2. Phonatoires	250
7.2.2.1. Ecart de résistance glottique	250
7.2.2.2. Ecart de différence de pression autour de la glotte	251
7.2.2.3. Résumé	253
7.3. Acoustiques : Indices de contrôle	253
7.3.1. Expérience n°4	253
7.3.1.1. Articulatoire : Durées segmentales	254
7.3.1.2. Phonatoire : Taux de voisement	258
7.3.2. Expérience n°5	261
7.3.2.1. Articulatoire : Durées segmentales	261
7.3.2.2. Phonatoire : Taux de voisement	264
7.3.3. Résumé	266
7.4. Acoustiques : Indices explorés	267
7.4.1. Expérience n°4	268
7.4.1.1. Parole et voix usuelles	268
7.4.1.2. Autres types de voix	271
7.4.2. Expérience n°5	276
7.4.2.1. Parole et voix usuelles	276
7.4.2.2. Autres types de voix	280
7.4.3. Résumé	285
8. Résultats cliniques : Expérience n°6	287
8.1. Femmes	289
8.1.1. Témoins	289
8.1.1.1. Taux de perception entre 60 et 80%	289
8.1.1.2. Cas notables au niveau de la production	291
8.1.2. Patients	294
8.1.2.1. Taux de perception entre 30 et 40% : Cas g	294
8.1.2.2. Taux de perception entre 40 et 60%	295
8.1.2.3. Taux de perception entre 60 et 80%	299
8.1.2.4. Taux de perception entre 80 et 90% : Cas i	302
8.2. Hommes	303
8.2.1. Témoins	304
8.2.1.1. Taux de perception entre 70 et 80%	304
8.2.1.2. Cas notables au niveau de la production	306
8.2.2. Patients	308
8.2.2.1. Taux de perception entre 30 et 40% : Cas x	308
8.2.2.2. Taux de perception entre 40 et 60%	309
8.3. Résumé	310
Partie III : Observations et discussion	311
9. Observations	312
9.1. Perception	313
9.1.1. Selon le voisement	313
9.1.2. Selon la structure syllabique	316
9.1.3. Selon le mode ou le lieu articulatoire	317

9.2. Production	318
9.2.1. Elicitation de l'effort	319
9.2.2. Evaluation de l'effort.....	320
9.2.2.1. Articulaire.....	321
9.2.2.2. Phonatoire.....	323
9.3. Perception et production comparées	328
10. Discussion	330
10.1. Aspects méthodologiques	331
10.1.1. Indices de l'effort	331
10.1.1.1. Perceptifs, physiologiques et aérodynamiques	331
10.1.1.2. Acoustiques	336
10.1.2. Elicitation de l'effort phonatoire.....	339
10.1.2.1. Méthodes	339
10.1.2.2. Variations de l'effort articulaire.....	341
10.2. Apports des expériences	342
10.2.1. Productions usuelles	343
10.2.1.1. Effets du voisement	343
10.2.1.2. Effets du mode et du lieu articulaire	352
10.2.1.3. Effets de la structure syllabique	353
10.2.2. Productions avec plus ou moins d'effort	354
11. Perspectives.....	357
12. Conclusion	360
Liste des figures	366
Liste des tableaux.....	370
Références.....	381
Annexes.....	390

I

Propos

&

Hypothèses

1. Introduction

La réalisation de cette thèse s’inscrit dans le contexte d’observations cliniques des troubles de la voix d’origine fonctionnelle. Il s’agit de dysfonctions entraînant un cercle vicieux d’effort et de fatigue. Avec la charge vocale, c’est-à-dire la puissance ou la durée de la production de la parole vocale, augmente l’effort de production de la voix. Cet effort est une réponse corporelle à l’activité générale de parole vocale et à l’activité particulière de phonation permettant de faire vibrer les plis vocaux au niveau du plan glottique, situé dans le larynx, et donc de produire la voix dans la parole (Ford Baldner, Doll, & van Mersbergen, 2015). L’effort entraîne une fatigue vocale (Vintturi, Alku, Sala, Sihvo, & Vilkman, 2003). Cette fatigue correspond principalement à la dégradation des capacités phonatoires (Ford Baldner et al., 2015). Elle résulte en un évitement des situations de parole, une sensation de gêne physique associée à la production de la voix et une diminution de la qualité vocale, voire une dysphonie, c’est-à-dire un trouble de la phonation, donc de la vibration des plis vocaux (Nanjundeswaran, Jacobson, Gartner-Schmidt, & Verdolini Abbott, 2015). Les symptômes de la fatigue vocale diminuent normalement avec le repos vocal ou, en d’autres termes, avec l’arrêt de la parole (Nanjundeswaran et al., 2015; Solomon & Stemmler DiMattia, 2000). En l’absence de repos, pour compenser la fatigue et maintenir la puissance ou prolonger la durée de la production de parole vocale, le locuteur augmente son effort et, ainsi, sa fatigue. Dans certaines

conditions même, en particulier chez les femmes, un comportement excessif d'effort phonatoire peut causer des lésions de la muqueuse des plis vocaux, comme des nodules (Dejonckere & Kob, 2009; Hillman, Holmberg, Perkell, Walsh, & Vaughan, 1989; Sonninen, Damsté, Jol, & Fokkens, 1972). Une dysfonction relative à l'effort phonatoire risque de causer dysphonies et lésions des plis vocaux, il s'agit donc d'un enjeu de santé publique.

Nous manquons de données concernant la prévalence de ces troubles de la voix d'origine fonctionnelle dans la population française. Aux Etats-Unis, une enquête nationale réalisée en 2012 révèle que 7,6 pourcents (%) de la population générale rapporte avoir souffert de troubles de la voix au cours des 12 mois précédents (Bhattacharyya, 2014). En Corée du Sud, une étude nationale réalisée entre 2008 et 2011 révèle, quant à elle, que 7,1% des 19.039 participants présentaient effectivement une pathologie laryngée (Hah, 2015). Les femmes, en particulier entre 40 et 59 ans, se plaignent davantage de troubles de la voix et souffrent davantage de lésions bénignes des plis vocaux même si, généralement, ce sont les hommes qui présentent davantage de pathologies laryngées (Bhattacharyya, 2014; De Bodt et al., 2015; Hah, 2015; Herrington-Hall, Lee, Stemple, Niemi, & Miller McHone, 1988; Roy, Merrill, Gray, & Smith, 2005). Les lésions bénignes des plis vocaux les plus courantes sont les nodules (1,5%), qui résultent typiquement d'une dysfonction phonatoire (Bhattacharyya, 2014; Dejonckere & Kob, 2009; Hah, 2015). Parmi les autres troubles les plus fréquemment observés chez les patients, après les laryngites qui correspondent à une inflammation muqueuse aiguë, apparaissent ensuite les dysfonctions sans lésions, puis d'autres lésions de la muqueuse des plis vocaux telles que les œdèmes et les polypes et, enfin, des lésions nerveuses avec notamment des paralysies laryngées unilatérales (De Bodt et al., 2015; Hah, 2015; Herrington-Hall et al., 1988). Les individus se plaignant de troubles de la voix exercent souvent des activités professionnelles impliquant une charge vocale importante, comme l'enseignement par exemple (Cantor Cutiva, Vogel, & Burdorf, 2013; Fritzell, 1996; Verdolini & Ramig, 2001). Dans la population générale, plus de 1,5% des individus présentent des dysfonctions phonatoires qui entraînent ou non des lésions muqueuses des plis vocaux.

Les pratiques cliniques d'évaluation consistent majoritairement à quantifier le résultat de la phonation, modifié par la vocalisation, et non son fonctionnement. Les cliniciens évaluent la voix grâce à des échelles perceptives et différentes mesures physiques qui peuvent être physiologiques, aérodynamiques ou acoustiques (Yu, Garrel, Nicollas, Ouaknine, & Giovanni, 2007; Yu, Ouaknine,

Révis, & Giovanni, 2001). L'évaluation perceptive de la voix reste la référence à laquelle ils comparent les mesures physiques et, bien souvent, elle est la seule évaluation qu'ils réalisent (Kempster, Gerratt, Verdolini Abbott, Barkmeier-Kraemer, & Hillman, 2009; Kenny, 2016). Cependant, elle peut être quantitative. Les mesures perceptives et physiques de la voix apparaissent complémentaires. L'évaluation de la phonation, quant à elle, est le plus souvent qualitative et ne tient pas une place centrale dans l'évaluation de ces troubles de la voix pourtant dits « d'origine fonctionnelle ». En revanche, la remédiation de ces troubles, lorsqu'elle passe uniquement par la rééducation orthophonique, revient à modifier le comportement phonatoire du patient (Desjardins, Halstead, Cooke, & Bonilha, 2016). L'évaluation de l'efficacité d'une thérapie fonctionnelle de la phonation consiste, elle aussi finalement, à ne mesurer que le résultat vocal.

L'évaluation du comportement phonatoire chez les patients repose principalement sur une impression globale propre à chaque clinicien. Elle passe par un entretien et une observation visuelle, voire une palpation (Stepp, Heaton, et al., 2011). Ce type d'évaluation n'est pas reproductible d'un patient à l'autre ou, pour un même patient, d'un moment à l'autre. Il ne permet donc pas d'évaluer la sévérité d'un trouble ou son évolution au cours du temps. Aucune échelle perceptive ne semble actuellement fiable pour évaluer l'effort dans la phonation (Ford Baldner et al., 2015). En ce qui concerne les mesures physiques, une mesure physiologique directe de la contraction musculaire peut être effectuée en électromyographie (EMG) par exemple. Mais, cette technique est invasive car elle nécessite l'insertion d'électrodes dans les muscles laryngés et, de plus, elle procure des données difficilement interprétables. Une mesure aérodynamique est aussi unanimement admise comme indicateur de l'effort vocal : la résistance glottique (GR), qui est fonction du débit du flux d'air trans-glottique (TGF) et de la différence de pression autour de la glotte (ΔGP) (Rosenthal, Lowell, & Colton, 2014). En pratique, lorsqu'elle est directe, cette technique de mesure est invasive car elle nécessite l'insertion de deux capteurs de pression, dont un dans la cavité orale et un autre dans la trachée mais, lorsqu'elle est indirecte, elle est peu fiable (Plant & Hillel, 1998). Plus récemment, une mesure acoustique de l'effort phonatoire, la fréquence fondamentale relative (RFF), a été proposée mais n'est pas encore validée (Stepp, Sawin, & Eadie, 2012). De plus, la méthode de mesure de cet indice acoustique ne nous semble pas permettre les comparaisons interindividuelles. Il paraît donc nécessaire de développer des mesures quantitatives fiables et non invasives de l'effort phonatoire (Hammarberg, 2000; Hillman et al., 1989).

Deux problèmes majeurs restreignent le développement de mesures de l'effort phonatoire, qu'elles soient perceptives ou physiques. Le premier concerne l'observation de la phonation car, d'abord, le son produit au niveau glottique est modifié au niveau sus-glottique par un phénomène de vocalisation et, ensuite, la vibration des plis vocaux est contrainte par l'articulation de la parole. Cependant, les interactions aérodynamiques entre les constriction sus-glottique, réalisée par les articulateurs, et glottique, réalisée par les plis vocaux, notamment pendant la production des consonnes voisées, pourraient favoriser l'émergence d'un effort phonatoire délimité dans le temps. Ces consonnes pourraient donc constituer des situations d'observation intéressantes pour notre propos. Par ailleurs, si les paramètres articulatoires interagissent avec les paramètres phonatoires, alors il est nécessaire de les considérer aussi pour eux-mêmes. En effet, comme la phonation, l'articulation de la parole, nécessite l'action de différents muscles avec plus ou moins d'effort selon les situations. Nous nous confrontons donc à la question de la distinction, dans la parole, entre l'effort articulatoire et l'effort phonatoire.

Le second problème restreignant le développement de mesures de l'effort phonatoire concerne la caractérisation de cet effort lui-même. La présence de lésions sur les plis vocaux complique la quantification de l'effort phonatoire. En effet, les mesures réalisées sur la voix correspondent alors à une combinaison de l'effort phonatoire et de la conséquence des lésions, comme un défaut d'accolement ou une asymétrie de vibration des plis vocaux par exemple. Une seconde question d'importance concerne donc la distinction, dans le résultat vocal, entre la dysphonie et l'effort phonatoire. L'effort phonatoire n'est pas directement observable ni donc facilement quantifiable dans la parole en général et dans la voix en particulier.

Notre travail de thèse a pour objectif, non seulement un apport théorique en linguistique, mais aussi une application clinique en orthophonie. Nous espérons pouvoir enrichir la théorie de l'effort phonatoire, depuis ses variations en fonction des traits articulatoires des phonèmes, et notamment du voisement, jusqu'à ses variations en fonction du type de parole vocale. Par ailleurs, nous avons à cœur de développer des techniques de mesures perceptives et physiques de l'effort phonatoire, qui soient faciles à réaliser et procurent des résultats fiables. Dans ce manuscrit, nous présentons les expériences que nous avons menées afin de faire varier l'effort phonatoire dans la parole et de tester plusieurs méthodes pour le mesurer. Nous nous attachons d'abord à définir les mécanismes de phonation et d'articulation de la parole, ainsi que la notion d'effort phonatoire.

2. La parole

La parole, qu'elle soit vocale ou chuchotée, est une manifestation du langage humain mettant en jeu différentes structures corporelles autour de la glotte. La glotte correspond à un espace en trois dimensions contenu entre les deux plis vocaux, qui sont situés dans le larynx. Le larynx assure trois fonctions, apparues progressivement au cours de la phylogénèse : la respiration, la déglutition et la phonation. La première consiste à maintenir les voies aériennes ouvertes grâce à la rigidité des structures, telles que les cartilages thyroïde et cricoïde. La deuxième, à l'inverse, consiste à permettre la fermeture des voies aériennes pour les protéger des fausses-routes alimentaires grâce à la mobilité d'autres structures, telles que le cartilage épiglottique et les cartilages aryénoïdes. La dernière, la phonation, consiste à assurer le rétrécissement des voies aériennes, là aussi grâce à la mobilité des structures, afin de créer une vibration d'air au niveau glottique. Elle nécessite la mise en pression de l'air au niveau sous-glottique, dans la soufflerie pulmonaire. Par la suite, la vibration est modifiée au niveau sus-glottique, dans les cavités de résonance, et devient la voix proprement dite. Les structures mobiles des cavités de résonance, les articulateurs sus-glottiques, permettent d'enchaîner différentes configurations, modifiant l'écoulement du flux d'air dans le conduit vocal, pour produire les sons (phonèmes) de la parole. A noter que le phénomène désigné comme la vocalisation ne requière pas nécessairement la phonation : un locuteur peut produire les voyelles

à partir d'une friction d'air glottique par exemple, dans la parole chuchotée. De plus, l'articulation de la parole ne nécessite obligatoirement ni la phonation, ni la vocalisation : on parle alors de parole subvocale, sans flux d'air trans-glottique. Même dans la parole vocale, tous les segments ne sont pas réalisés avec de la voix (Fourcin, 2010). En effet, l'arrêt de la vibration glottique est caractéristique de certains phonèmes. Dans ce chapitre, nous décrivons l'anatomie, la physiologie et la pathologie de la parole vocale, plus particulièrement au niveau du larynx et pour la phonation.

2.1. Anatomie

2.1.1. Sous-glottique

En premier lieu, au niveau sous-glottique, nous décrivons juste l'anatomie de la soufflerie pulmonaire, non l'ensemble de l'anatomie de l'appareil phonatoire. Le muscle inspirateur principal est le diaphragme. Il est innervé par une branche du plexus cervical profond, le nerf phrénique. Les autres muscles inspireurs engagés dans la phonation sont les intercostaux externes et moyens. Les muscles expirateurs sont les intercostaux internes et les abdominaux, dont les petits et grands obliques, les grands droits et les grands dorsaux. Tous ces muscles intercostaux et abdominaux sont innervés par les nerfs mixtes rachidiens d'origine dorsale. Pendant la phonation, au contraire de la respiration observée au repos, l'expiration est active et met en jeu les muscles antagonistes, inspireurs et expirateurs, pour produire un flux d'air trans-glottique dont le débit est constant et durable. Cette expiration comporte trois phases : d'abord, les forces élastiques de rappel sont mises en jeu sans relâchement total du diaphragme, ensuite, la contraction des muscles intercostaux internes réduit le volume de la cage thoracique et, enfin, il y a une contraction des muscles abdominaux (Hixon, 1987). Le temps inspiratoire entre deux expirations phonatoires est réduit. Des muscles inspireurs accessoires peuvent aussi être impliqués : les scalènes, innervés par les nerfs mixtes rachidiens d'origine cervicale, et les sterno-cléido-mastoïdiens, innervés par la branche externe du nerf accessoire (XI). Ces muscles sous-glottiques intervenant dans la phonation sont également engagés dans le maintien postural (Gould, 1971; Massery, Hagins, Stafford, Moerchen, & Hodges, 2013).

2.1.2. Glottique

2.1.2.1. Structures

Avant de décrire le plan glottique, nous présentons l'anatomie détaillée du larynx qui le contient : ses structures, ses muscles et ses nerfs. Pour commencer, nous décrivons les structures osseuses, cartilagineuses et ligamentaires appartenant au larynx ou importantes pour celui-ci. Notamment, l'os hyoïde, situé au niveau de la base de langue, est une structure sus-laryngée, en forme de U ouvert vers l'arrière, qui constitue le point d'attache de nombreux muscles extrinsèques du larynx et représente donc un élément majeur de sa stabilité. Ensuite, parmi les structures qui appartiennent au larynx, le cartilage épiglottique est une lame, plus large au niveau de son bord libre qui dépasse l'os hyoïde et plus fine à sa base qui est attachée, par le ligament de Broyles, au niveau de l'angle rentrant du cartilage thyroïde.

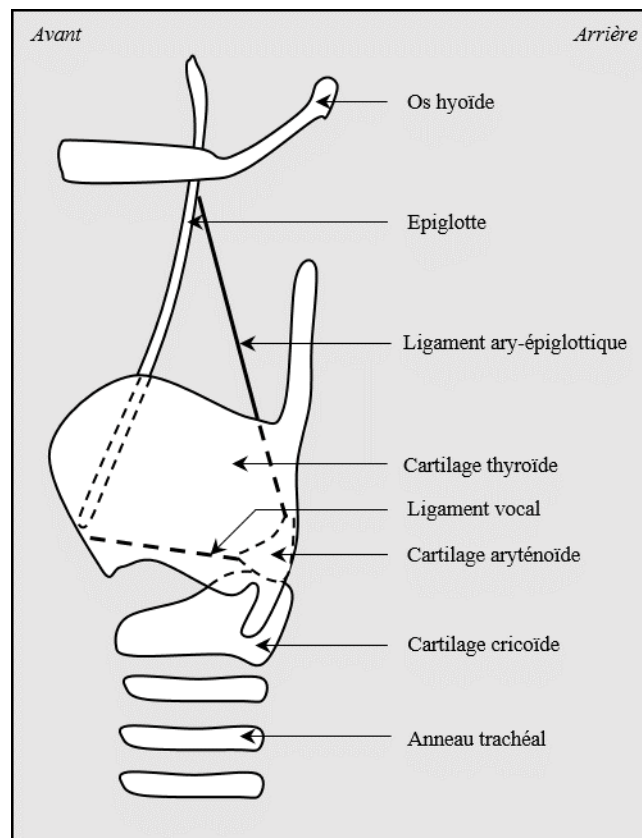


Figure 1 : vue latérale des os, cartilages et ligaments du larynx

Le cartilage thyroïde a également la forme d'un U ouvert vers l'arrière et son angle antérieur – la pomme d'Adam – est plus aigu, donc plus proéminent, chez l'homme que chez la femme. Il présente deux ailes latérales avec, au niveau de leur partie basse et postérieure, deux petites cornes qui s'articulent avec le cartilage cricoïde. Le cartilage cricoïde, quant à lui, est un anneau plus fin dans sa partie antérieure et plus large dans sa partie postérieure. Son bord inférieur est horizontal alors que son bord supérieur est oblique et dépasse, en arrière, le bord inférieur du cartilage thyroïde. Ces deux structures sont peu mobiles : elles maintiennent les voies respiratoires ouvertes pendant la respiration. Cependant, elles sont articulées entre elles et, notamment, le cartilage thyroïde peut basculer légèrement en avant sur le cartilage cricoïde, sous l'action du muscle crico-thyroïdien (CT) que nous présentons plus bas. La position du cartilage thyroïde par rapport au cartilage cricoïde est notamment visible sur la Figure 1¹.

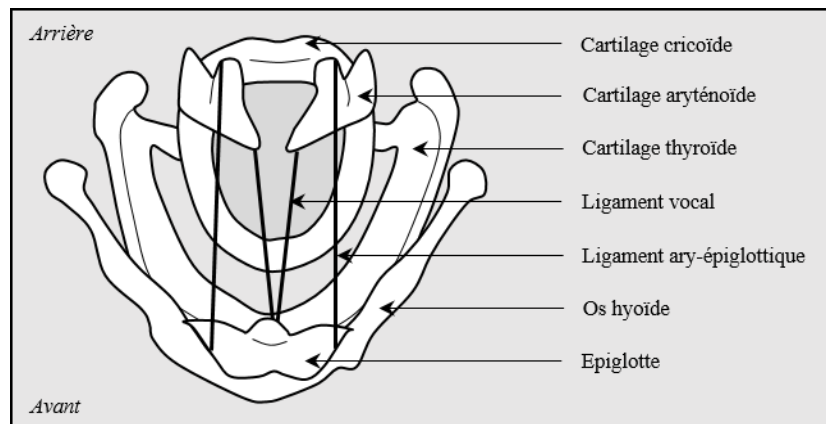


Figure 2 : vue supérieure des os, cartilages et ligaments du larynx

Les deux cartilages aryténoïdes, eux, sont mobiles et permettent de rétrécir les voies respiratoires pour la phonation. Ils s'articulent sur la partie postérieure du cartilage cricoïde. Ils ont la forme de pyramides à trois faces, sur lesquelles s'insèrent des muscles et des ligaments et, notamment, les plis vocaux. Ils possèdent une apophyse vocale au niveau antérieur et une apophyse musculaire au niveau postéro-latéral. Les ligaments ary-épiglottiques relient l'apophyse musculaire des cartilages aryténoïdes aux bords latéraux de l'épiglotte et sous-tendent les margelles laryngées. Les membranes quadrangulaires, insérées sur les mêmes structures, au-dessous des ligaments ary-épiglottiques, sous-tendent les plis ventriculaires. Enfin, les structures considérées comme les ligaments vocaux relient l'apophyse vocale des cartilages aryténoïdes à

¹ Tous les schémas anatomiques disposés dans ce manuscrit ont été dessinés par l'auteur.

l'angle rentrant du cartilage thyroïde, sous le ligament de Broyles, et sous-tendent les plis vocaux. Les cartilages aryténoïdes et les ligaments sont notamment visibles sur la Figure 2.

2.1.2.2. Muscles

2.1.2.2.1. Intrinsèques

Nous décrivons maintenant les muscles laryngés intrinsèques puis les muscles laryngés extrinsèques sous-hyoïdiens et sus-hyoïdiens. Les muscles intrinsèques sont responsables de l'adduction ou de l'abduction, qui correspondent à l'ouverture et à la fermeture des plis vocaux, comme schématisé sur la Figure 3. Ils sont aussi responsables de l'allongement ou du raccourcissement, de la tension ou du relâchement, de l'élévation ou de l'abaissement, ainsi que du raidissement ou de l'assouplissement des différentes parties des plis vocaux. Les actions précises de tous les muscles intrinsèques sur la partie cartilagineuse ou membraneuse et, pour cette dernière, sur le corps ou le bord des plis vocaux sont récapitulées plus bas, dans le Tableau 1.

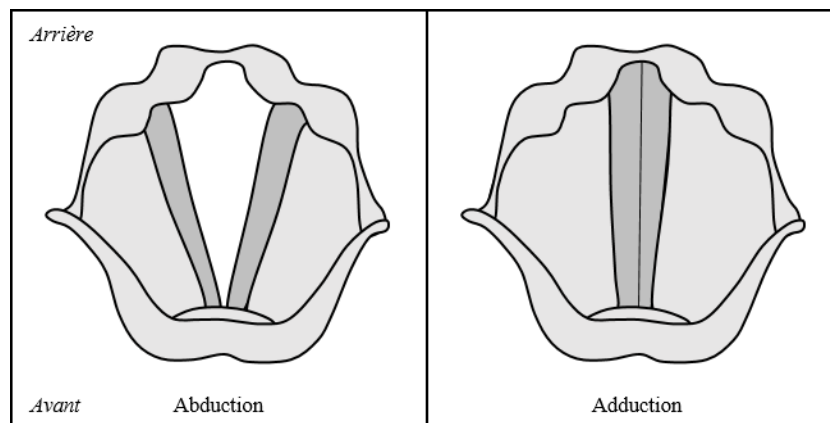


Figure 3 : vue supérieure des plis vocaux

Les muscles thyro-aryténoïdiens (TA) sont insérés, en avant, sur la face interne du cartilage thyroïde – derrière la pomme d'Adam – et, en arrière, sur la face antérolatérale des cartilages aryténoïdes, depuis leur apophyse vocale jusqu'à leur apophyse musculaire. Ils possèdent un compartiment latéral et un compartiment médial, qui est parfois considéré comme le véritable muscle vocal, mais cette distinction fonctionnelle est débattue (Zhaoyan, 2016). Les deux compartiments de ces muscles sont notamment visibles sur la Figure 4. La contraction des TA entraîne un raccourcissement des plis vocaux et un épaissement de leur partie profonde (corps),

ce qui les comprime l'un contre l'autre et permet l'adduction de leurs deux tiers antérieurs. La contraction des TA entraîne aussi une tension et un raidissement du corps des plis vocaux mais un relâchement et un assouplissement, ou un relâchement mais un raidissement si la compression est forte, de la partie superficielle des plis vocaux (bord).

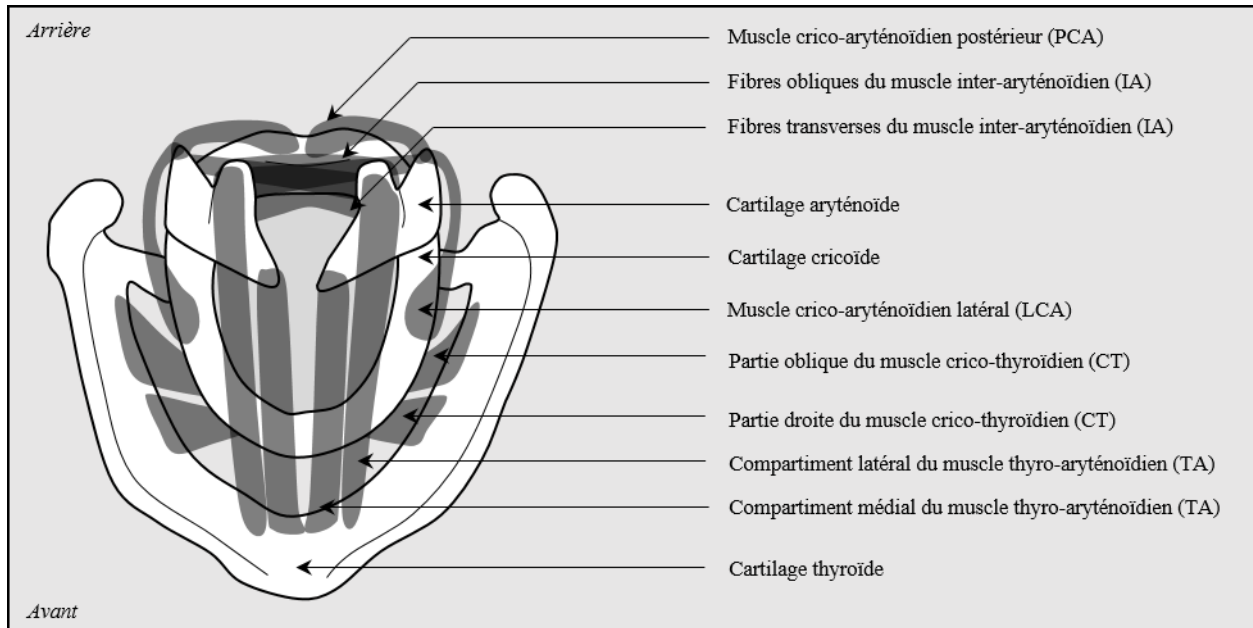


Figure 4 : vue supérieure des muscles intrinsèques du larynx

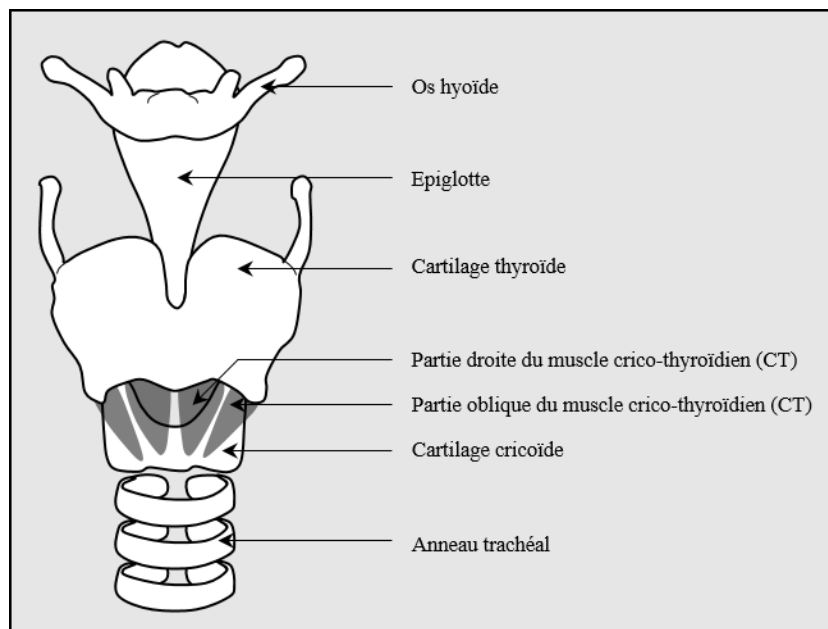


Figure 5 : vue antérieure des muscles intrinsèques du larynx

Les muscles crico-thyroïdiens (CT) sont insérés sur la face externe et antéro-latérale du cartilage cricoïde et, pour leur partie oblique, sur la face interne des ailes du cartilage thyroïde ou, pour leur partie droite, sur le bord inférieur du cartilage thyroïde. Les deux parties de ces muscles sont notamment visibles sur la Figure 5. La contraction des CT fait basculer le cartilage thyroïde en avant sur le cartilage cricoïde, ce qui entraîne un allongement des plis vocaux. Ils permettent donc la tension et le raidissement, non seulement de la partie profonde des plis vocaux mais aussi de leur partie superficielle. Ils permettent également, dans une moindre mesure, leur adduction.

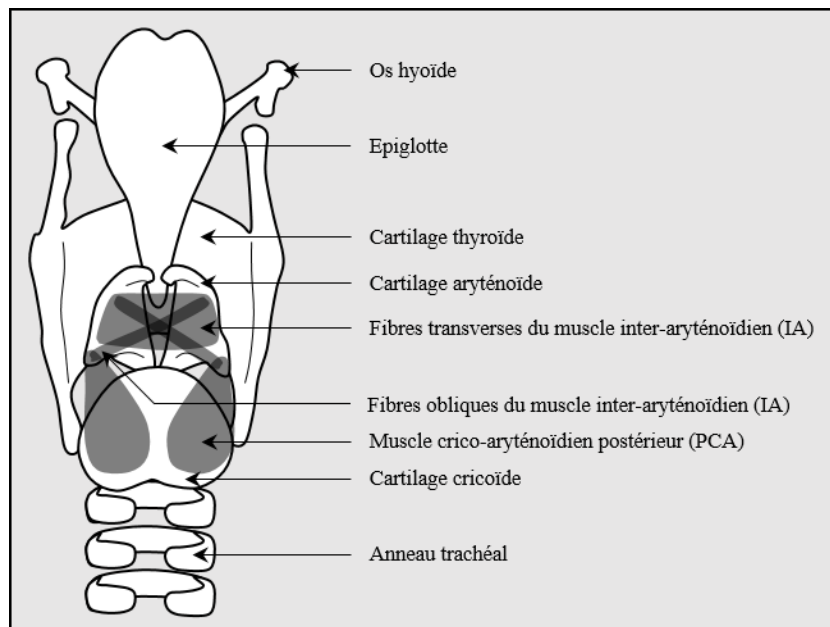


Figure 6 : vue postérieure des muscles intrinsèques du larynx

Le muscle inter-aryténoïdien (IA) est constitué de fibres transverses, qui sont insérées au niveau de la face interne des cartilages aryténoïdes, et de fibres obliques, qui sont insérées sur la base de l'un des cartilages aryténoïdes et sur le sommet du cartilage aryténoïde controlatéral. Les différentes fibres de ces muscles sont notamment visibles sur la Figure 6. La contraction du IA rapproche les aryténoïdes. Il permet l'adduction du tiers postérieur des plis vocaux, constitués de l'apophyse vocale de ces cartilages. Les muscles crico-aryténoïdiens sont de deux types opposés. D'une part, les muscles crico-aryténoïdiens latéraux (LCA) sont insérés sur les bords supérieurs des faces latérales du cartilage cricoïde et sur la face latérale de l'apophyse musculaire des cartilages aryténoïdes. La contraction des LCA entraîne une rotation en dehors de l'apophyse musculaire et, donc, une rotation en dedans de l'apophyse vocale des cartilages aryténoïdes, permettant l'adduction du tiers postérieur des plis vocaux. Elle entraîne aussi l'allongement et

l'abaissement des plis vocaux, permettant leur tension. D'autre part, les muscles crico-aryténoïdiens postérieurs (PCA) sont insérés sur la face postérieure externe du cartilage cricoïde et sur la face postérieure de l'apophyse musculaire des cartilages aryténoïdes. L'insertion des PCA est également observable sur la Figure 6. La contraction des PCA entraîne une rotation latérale et postérieure des cartilages aryténoïdes, permettant l'abduction des plis vocaux. Leur contraction entraîne aussi l'allongement et l'élévation des plis vocaux, permettant leur tension.

		Muscles				
		TA	CT	IA	LCA	PCA
Actions	Adduction	membrane	<i>membrane</i>	cartilage	cartilage	–
	Abduction	–	–	–	–	membrane et cartilage
	Allongement	–	membrane	–	<i>membrane</i>	<i>membrane</i>
	Raccourcissement	membrane	–	–	–	–
	Élévation	–	–	–	–	<i>membrane et cartilage</i>
	Abaissement	–	–	–	<i>membrane et cartilage</i>	–
	Raidissement	corps et +/- bord	corps et bord	–	–	–
	Assouplissement	+/- bord	–	–	–	–
	Tension	corps	corps et bord	–	<i>bord</i>	<i>bord</i>
	Relâchement	bord	–	–	–	–

Distinction entre les parties cartilagineuses et membraneuses des plis vocaux et, pour ces dernières, entre le corps et le bord du pli vocal. Actions secondaires en italiques. Muscles : thyro-aryténoïdiens (TA) ; crico-thyroïdiens (CT) ; inter-aryténoïdien (IA) ; crico-aryténoïdiens latéraux (LCA) ; crico-aryténoïdiens postérieurs (PCA).

Tableau 1 : actions engendrées par la contraction des muscles intrinsèques du larynx sur les plis vocaux

2.1.2.2.2. Extrinsèques

Les muscles extrinsèques sous-hyoïdiens et sus-hyoïdiens du larynx sont responsables du maintien de sa position dans le cou. On compte quatre muscles sous-hyoïdiens. Trois d'entre eux sont schématisés sur la Figure 7. Les muscles thyro-hyoïdiens sont insérés sur le bord supérieur des ailes du cartilage thyroïde et sur le bord inférieur des branches de l'os hyoïde. Leur contraction rapproche le cartilage thyroïde et l'os hyoïde, donc élève le larynx. Les muscles sterno-thyroïdiens sont insérés sur le bord supérieur des ailes du cartilage thyroïde et sur le bord postérieur du manubrium sternal. Leur contraction rapproche le cartilage thyroïde et le sternum, donc abaisse le larynx. Les muscles sterno-cléido-mastoïdiens sont insérés sur le bord inférieur de l'os hyoïde d'un côté et sur la clavicule et la face postérieure du manubrium sternal de l'autre côté. Ils sont prolongés par les muscles omo-hyoïdiens, insérés sur le bord supérieur des omoplates. Leur contraction rapproche les structures sus- et sous-glottiques et, notamment, abaisse l'os hyoïde.

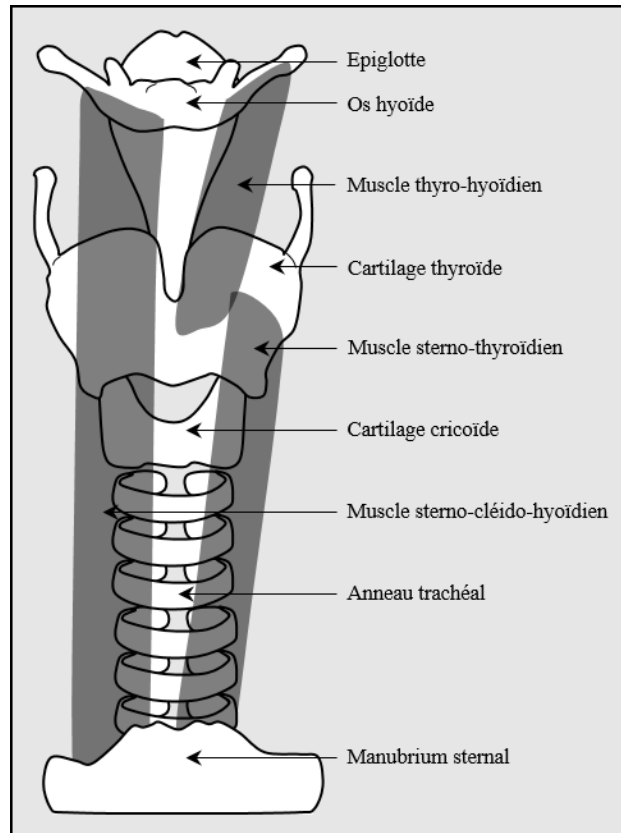


Figure 7 : vue antérieure des muscles extrinsèques sous-hyoïdiens du larynx

En ce qui concerne les muscles extrinsèques sus-hyoïdiens du larynx, nous comptons les muscles digastriques qui sont insérés, non pas directement sur l'os hyoïde, mais sur les tendons intermédiaires qui s'y attachent. Leur ventre postérieur est inséré sur l'apophyse mastoïde du crâne et sa contraction élève l'os hyoïde vers l'arrière, tandis que leur ventre antérieur est inséré sur le bord inférieur de la mandibule et sa contraction élève l'os hyoïde vers l'avant. Les muscles mylo-hyoïdiens sont insérés, là encore, non pas directement sur l'os hyoïde, mais sur le raphé médian qui s'y attache, et sur la face interne de la branche mandibulaire horizontale. Les muscles génio-hyoïdiens sont insérés sur la face antérieure du corps de l'os hyoïde et sur l'épine mentale de la mandibule. La contraction des muscles mylo-hyoïdiens et génio-hyoïdiens élève l'os hyoïde vers l'avant. Enfin, les muscles stylo-hyoïdiens sont insérés sur le corps de l'os hyoïde et sur l'apophyse styloïde du crâne. Leur contraction élève l'os hyoïde vers l'arrière. Le maintien du larynx par l'action de tous ces muscles extrinsèques permet une action efficace de ses muscles intrinsèques.

2.1.2.3. Nerfs

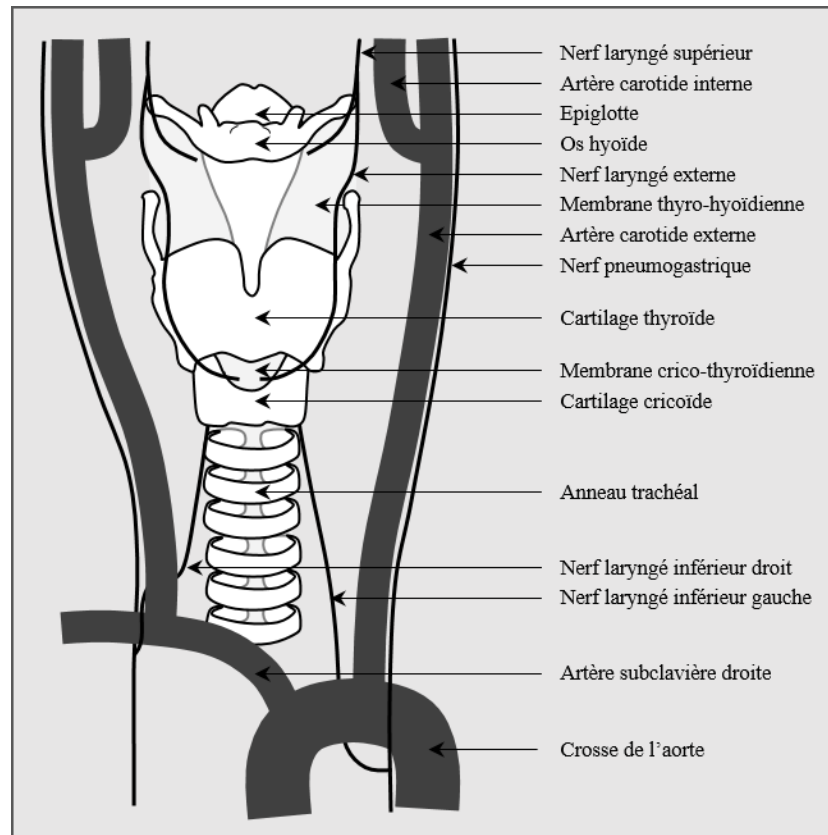


Figure 8 : vue antérieure de l'innervation des muscles intrinsèques du larynx

Les muscles laryngés intrinsèques sont innervés par différentes branches des nerfs pneumogastriques, aussi appelés nerfs vagues (X), comme schématisé sur la Figure 8. La première branche provenant des nerfs pneumogastriques est le nerf laryngé supérieur qui pénètre dans le larynx à travers la membrane thyro-hyoïdienne. Cette branche est principalement sensitive et transmet des informations concernant les muscles intrinsèques, qui sont composés de fibres résistant à la fatigue, mais aussi concernant les muqueuses du larynx. Une branche de ce nerf laryngé supérieur, le nerf laryngé externe, est motrice et responsable de la contraction des muscles crico-thyroïdiens (CT). La contraction des CT est nécessairement impliquée dans la production du mécanisme 2 de phonation, que nous présentons plus bas. La seconde branche provenant des nerfs pneumogastriques est le nerf laryngé inférieur ou récurrent qui émerge, à droite, au niveau de l'orifice supérieur du thorax et, à gauche, plus bas encore, au niveau de la crosse de l'aorte, puis remonte – d'où son nom de récurrent – et pénètre dans le larynx en arrière de l'articulation crico-

thyroïdienne. Cette branche est entièrement motrice et responsable de la contraction de tous les muscles intrinsèques du larynx, exception faite des CT.

En ce qui concerne les muscles laryngés extrinsèques, ils sont innervés par les branches de différents nerfs rachidiens. Plusieurs branches des nerfs hypoglosses (XII) innervent tous les muscles laryngés sous-hyoïdiens ainsi que les muscles génio-hyoïdiens. Une branche des nerfs faciaux (VII) innerve les muscles sus-hyoïdiens élevant l'os hyoïde vers l'arrière : le ventre postérieur des muscles digastriques et les muscles stylo-hyoïdiens ; et une branche des nerfs trijumeaux (V) innerve les muscles sus-hyoïdiens élevant l'os hyoïde vers l'avant : le ventre antérieur des muscles digastriques et les muscles mylo-hyoïdiens. Nous ne détaillons pas les trajets de ces nerfs car notre intérêt porte davantage sur le fonctionnement laryngé intrinsèque. Nous nous intéressons en particulier au fonctionnement du plan glottique qui est situé à l'intérieur du larynx.

2.1.2.4. Glotte

Le plan glottique est constitué par les deux plis vocaux qui permettent de rétrécir les voies aériennes afin de créer une vibration de l'air. La longueur de ces plis vocaux varie de 11 à 15 millimètres chez les femmes et de 17 à 21 millimètres chez les hommes (Zhaoyan, 2016). Ils possèdent une portion cartilagineuse, constituée par l'apophyse vocale des cartilages aryténoïdes, qui forme leur tiers postérieur, et une portion membraneuse, notamment constituée par les muscles thyro-aryténoïdiens, qui forme leurs deux tiers antérieurs. Les trois tiers des plis vocaux sont schématisés sur la Figure 9.

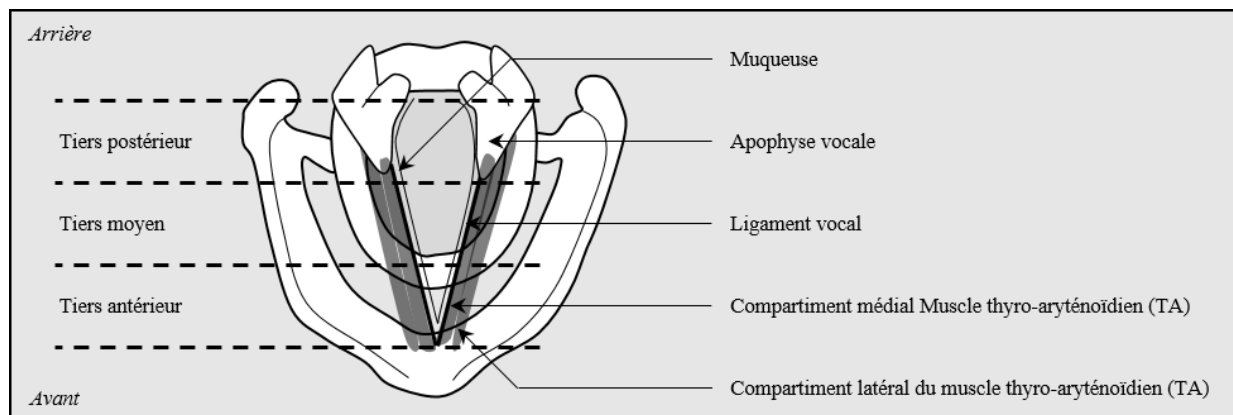


Figure 9 : vue supérieure du larynx et coupe transversale des plis vocaux

Les plis vocaux sont, dans leur entier, recouverts de muqueuse de type épithélium. La portion membraneuse des plis vocaux présente une structure feuillée avec la muqueuse, les différentes couches de la *lamina propria* (superficielle, intermédiaire et profonde) et les deux compartiments des muscles thyro-aryténoïdiens (TA). La muqueuse est solidement attachée sur la couche superficielle de la *lamina propria* par des protéines d'ancrage. Cette couche superficielle, aussi désignée comme l'espace de Reinke, contient quelques fibres d'élastine et de collagène éparses. Sa viscosité permet une propagation harmonieuse de l'onde vibratoire. La couche intermédiaire de la *lamina propria* est surtout constituée de fibres d'élastine, alors que la couche profonde est surtout constituée de fibres de collagène denses. La structure que nous avons présentée plus haut comme le ligament vocal correspond en fait à ces deux couches. Ce ligament vocal contient aussi des renforcements, nommés *maculae flavæ*, qui créent des épaissements localisés au niveau antérieur et au niveau postérieur des plis vocaux, entre les structures vibrantes et les structures rigides du larynx, où les contraintes mécaniques sont les plus importantes, pour les protéger pendant la phonation. Cette structure feuilletée du pli vocal est schématisée sur la Figure 10. Nous adoptons ici une vue simplifiée des plis vocaux avec une structure en deux couches : corps et bord libre, ou *body-cover* en anglais (Zhaoyan, 2016). Le corps du pli vocal correspond au muscle TA et à la couche profonde de la *lamina propria*, tandis que son bord correspond aux couches intermédiaires et superficielles de la *lamina propria* et à l'épithélium. Le corps et le bord des plis vocaux peuvent être plus ou moins tendus, raidis ou les deux sous l'action des muscles intrinsèques du larynx, ce qui modifie leurs propriétés vibratoires. L'onde sonore produite par la vibration des plis vocaux est ensuite modifiée au niveau sus-glottique dans le conduit vocal.

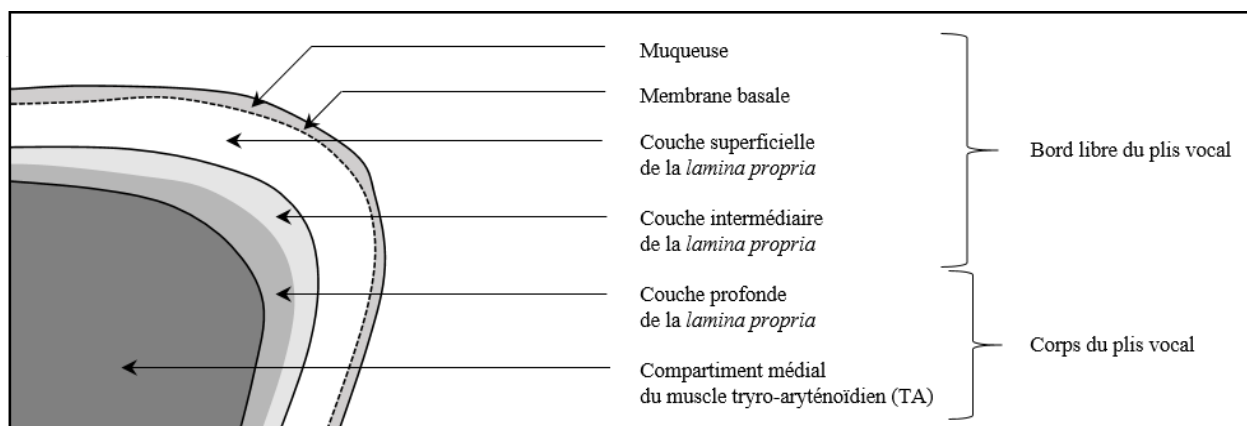


Figure 10 : coupe frontale d'un pli vocal

2.1.3. Sus-glottique

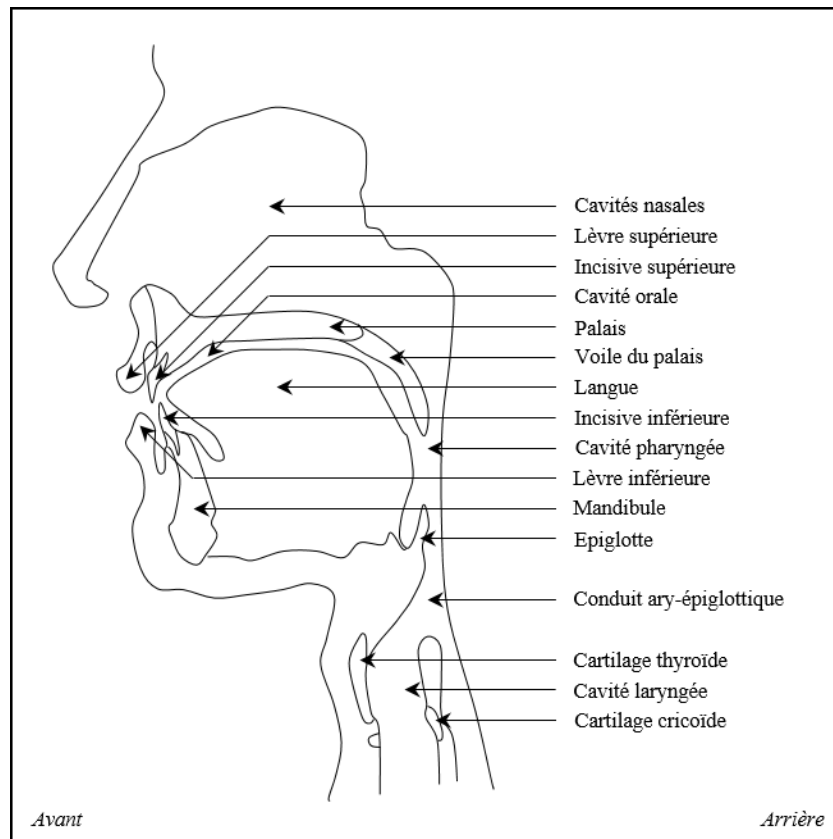


Figure 11 : coupe sagittale des organes articulatoires et des cavités de résonance sus-glottiques

Le conduit vocal, au niveau sus-glottique, est constitué de plusieurs cavités de résonance : laryngale, pharyngale, orale et nasales. Le vestibule laryngé, aussi appelé conduit ary-épiglottique, est la partie supra-glottique du larynx. Il comporte la cavité ventriculaire qui sépare les plis vocaux des plis ventriculaires et il s'ouvre, par l'épiglotte et les plis ary-épiglottiques (ou margelles laryngées), sur le pharynx. La forme du pharynx est modifiée sous l'action de ses muscles constricteurs. Le pharynx s'ouvre sur la cavité orale, dont la forme est, quant à elle, modifiée par le positionnement des articulatoires que sont la langue, les joues et les lèvres, sous l'action d'un grand nombre de muscles différents. Le pharynx peut aussi s'ouvrir, selon le positionnement d'un autre articulateur, le voile du palais, sur les cavités nasales. Toutes ces cavités de résonance sus-glottiques sont schématisées sur la Figure 11. A l'exception des muscles des joues qui actionnent les articulations mandibulaires et sont davantage spécialisés pour la force de contraction, tous les muscles sus-glottiques de la parole, qu'ils soient des sphincters (lèvres, voile du palais, pharynx)

ou des hydrostats (langue), sont davantage spécialisés pour la vitesse de contraction et sont résistants à la fatigue comme le sont, au niveau glottique, les muscles intrinsèques du larynx (Kent, 2004). Ouvertes, ces cavités de résonance transforment le son produit par la phonation en véritable voix, par le mécanisme de la vocalisation.

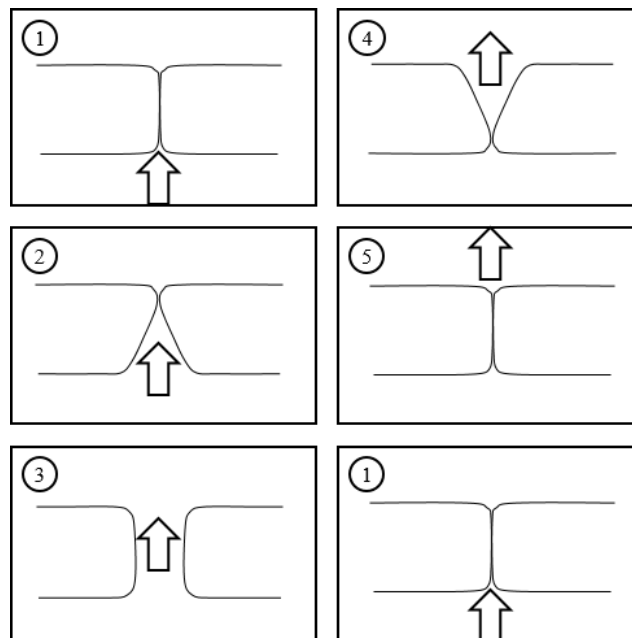
2.2. Physiologie

La physiologie de la parole vocale tient en trois phénomènes que sont la phonation, la vocalisation et l'articulation. La phonation correspond à la mise en vibration de l'air au niveau glottique. Nous voyons plus bas qu'il existe plusieurs mécanismes vibratoires, plus ou moins différenciés et, notamment, le mécanisme modal, pour lequel la vibration est périodique (Gerratt & Kreiman, 2001). Cependant, dans certaines conditions, le rétrécissement glottique peut créer, non pas une vibration, mais une friction de l'air (Ladefoged, 1973). La vocalisation correspond à la transformation, au niveau sus-glottique, du son créé par la vibration, qui devient alors la voix. La production des voyelles, caractérisée par un écoulement libre du flux d'air, dépend de la forme des cavités de résonances sus-glottiques, donc des gestes réalisés par les organes articulateurs sus-glottiques. L'articulation, enfin, correspond à l'enchaînement de différents gestes articulatoires. La production des consonnes, caractérisées par un obstacle à l'écoulement du flux d'air, dépend de la nature de cet obstacle (rétrécissement ou fermeture) ainsi que de son point de réalisation dans le conduit vocal. A noter que l'arrêt de la vibration survient pendant la réalisation de certains phonèmes de la parole vocale : les consonnes non voisées. L'articulation peut aussi être réalisée à partir d'une friction glottique continue, nous parlons alors de parole chuchotée. Elle peut sinon être silencieuse, dans le cas de la parole subvocale. Nous expliquons la physiologie de la parole vocale, de ses mécanismes et de ses modalités, chez le sujet sain tout d'abord.

2.2.1. Phonation

Dans un premier temps, nous décrivons le principe global de la phonation, c'est-à-dire de la mise en vibration de l'air au niveau glottique. Cette vibration résulte d'une interaction complexe entre les plis vocaux et le flux d'air trans-glottique : les forces aérodynamiques tendent à écarter les plis vocaux alors que les forces biomécaniques tendent à les rapprocher. Le processus de

phonation débute avec l'adduction des plis vocaux, c'est-à-dire leur accollement au niveau de la ligne médiane, pour fermer la glotte. L'adduction est réalisée, au minimum, par l'action du muscle inter-aryténoïdien (IA). Ensuite, l'expiration entraîne une réduction du volume pulmonaire et donc un flux d'air en direction de la glotte. Dans ces conditions, la pression d'air sous-glottique augmente. Lorsque cette pression dépasse un certain seuil, les plis vocaux sont écartés et de l'air s'échappe. Selon la théorie myo-élastique, les plis vocaux sont ensuite rapprochés par des forces élastiques de rappel (van den Berg, 1958). Ils entrent alors dans une vibration cyclique auto-entretenu. Il existe une différence de phase entre l'écartement et le rapprochement des plis vocaux, pour leurs portions inférieures et supérieures (Berke & Gerratt, 1993). Ce déphasage vibratoire est illustré sur la Figure 12. Le passage de l'air par la glotte entraîne aussi une pression d'air négative et donc une rétro-aspiration (effet Bernouilli), qui tend également à rapprocher les plis vocaux, mais qui n'est pas indispensable pour leur vibration (Zhaoyan, 2016). La phonation correspond à la transformation d'un phénomène aérodynamique continu en un phénomène acoustique alternatif.



Phases : augmentation de la pression d'air sous-glottique (1) ; écartement de la partie inférieure des plis vocaux (2) ; écartement de la partie supérieure des plis vocaux et échappement de l'air (3) ; échappement de l'air et rapprochement de la partie inférieure des plis vocaux (4) ; rapprochement de la partie supérieure des plis vocaux (5).

Figure 12 : coupe frontale de la vibration des plis vocaux

2.2.1.1. Prérequis

Un paramètre important de la phonation normale est la fermeture de la glotte pendant la vibration car elle permet la synchronisation. L'action du muscle inter-aryténoïdien (IA) ainsi que des muscles crico-aryténoïdiens latéraux (LCA) permet l'adduction de la partie cartilagineuse des plis vocaux, au niveau de leur tiers postérieur, mais n'est pas suffisante pour fermer complètement l'espace glottique. L'action des muscles thyro-aryténoïdiens (TA), qui composent le corps de la partie membraneuse des plis vocaux, au niveau de leurs deux tiers antérieurs, est donc nécessaire pour obtenir cette fermeture complète (Zhaoyan, 2016). Le cycle vibratoire est alors divisé en deux phases : la phase « ouverte », qui comprend aussi les « transitions d'ouverture et de fermeture » et correspond en fait à l'écartement et au rapprochement des plis vocaux, et la phase « fermée » pendant laquelle les plis vocaux sont en contact. Le contact permet un transfert d'énergie entre les deux plis vocaux et synchronise donc leur vibration. En effet, le pli vocal fonctionne comme un oscillateur à relaxation car il accumule l'énergie continue (le flux d'air trans-glottique) puis relâche une énergie alternative (l'onde sonore sinusoïdale). Chaque pli vocal, de par ses qualités intrinsèques que nous détaillons plus bas, possède une fréquence de vibration qui lui est propre et les deux plis vocaux ne vibrent donc jamais exactement à la même fréquence. Cependant, chez le sujet sain, les qualités des plis vocaux sont plutôt similaires donc leurs fréquences de vibration sont assez proches et peuvent être resynchronisées à chaque cycle vibratoire, lors du contact. La compression des plis vocaux, notamment par la contraction des TA, permet d'augmenter la surface et la durée de ce contact.

La compression des plis vocaux permet aussi d'augmenter la résistance glottique (GR) au flux d'air trans-glottique, donc de diminuer son débit (TGF) (Alipour & Jaiswal, 2009; Alipour, Scherer, & Finnegan, 1997). Ce flux d'air trans-glottique est le second paramètre d'importance pour la phonation car il permet l'écartement des plis vocaux. Pour engendrer un flux d'air à travers la glotte fermée, il est nécessaire que la pression sous-glottique (SGP) soit supérieure à la pression sus-glottique ou intra-orale (IOP) et que cette différence (ΔGP) dépasse un seuil, appelé seuil de pression phonatoire en français ou *phonation threshold pressure* (PTP) en anglais. Comme la fréquence de vibration, ce seuil dépend des qualités intrinsèques des plis vocaux. Lorsque la SGP appliquée aux plis vocaux accolés est suffisante, ceux-ci sont écartés et, en même temps que la vibration d'air qu'ils créent – qui se déplace de proche en proche à la vitesse du son – un flux d'air

trans-glottique est initié, avec un certain débit. A noter qu'il existe une hystérésis : le PTP est toujours supérieur lors de l'initiation que pendant le soutien de la vibration (Plant, Freed, & Plant, 2004). La ΔGP due à l'expiration, la GR due à la compression des plis vocaux et le TGF sont liés (Finnegan, Luschei, & Hoffman, 2000). L'augmentation seule de la SGP entraîne une augmentation du TGF qui écarte davantage les plis vocaux donc augmente leur amplitude de vibration mais diminue leur contact, voire l'annule (M. E. Smith, Green, & Berke, 1991). Au contraire, l'augmentation de la SGP concomitante à une augmentation de la GR n'entraîne pas obligatoirement d'augmentation du TGF, mais une augmentation de la surface et de la durée de contact des plis vocaux, en accélérant leur écartement et leur rapprochement, en plus d'une augmentation de leur amplitude de vibration. Dans la parole, la SGP est maintenue à peu près constante, que ses segments soient réalisés avec ou sans vibration glottique (McGlone & Shipp, 1972; Murry & Brown, Jr, 1971). Les variations aérodynamiques sont donc principalement dues à la compression des plis vocaux. La compression des plis vocaux augmente, non seulement leur contact, mais aussi leur amplitude et leur vitesse de vibration.

2.2.1.2. Qualités vibratoires des plis vocaux

Comme nous l'avons mentionné à plusieurs reprises, la phonation dépend fortement des qualités vibratoires intrinsèques des plis vocaux. Chaque pli vocal possède des fréquences de vibration qui lui sont propres : une fréquence fondamentale (F_0) et des fréquences harmoniques, qui sont des multiples de la F_0 . La F_0 correspond au nombre de cycles vibratoires par seconde, mesuré en Hertz (Hz). Le contrôle de la fréquence de vibration plis vocaux est considéré comme analogue à celui des cordes, c'est-à-dire dépendant de leur longueur, de leur masse et de leur tension (R H Colton, Casper, & Leonard, 2011). La F_0 diminue lorsque la longueur au repos des plis vocaux augmente. La F_0 diminue aussi lorsque la masse des plis vocaux augmente, notamment sous l'action des muscles thyro-aryténoïdiens (TA), qui les raccourcissent par ailleurs. Dans ces deux cas, le déplacement des plis vocaux nécessite une force aérodynamique plus importante et leur vitesse de vibration, à force égale, est donc réduite. A noter que, de ce fait, la F_0 est usuellement plus basse chez les hommes que chez les femmes car la longueur et la masse de leurs plis vocaux sont plus grandes. A noter également que la F_0 augmente lorsque la longueur vibrante des plis vocaux augmente, sous l'action des muscles crico-thyroïdiens (CT). Enfin, la F_0 augmente avec la tension des plis vocaux, sous l'action combinée des CT et des TA, dans le mécanisme 1

(modal) de phonation. Comme nous l'avons expliqué plus haut, l'action des TA est complexe et une contraction extrême de ces TA, sans action des CT, est observable dans le mécanisme 0 (basal) de phonation, pour lequel la F0 est la plus basse. À l'inverse, une contraction extrême des CT, avec une action réduite des TA, est observable dans le mécanisme 2 de phonation, pour lequel la F0 est la plus haute. Cependant, le modèle des cordes ne tient compte ni de la raideur des plis vocaux, ni de leur contact qui amplifie cette raideur. Lorsque la raideur des plis vocaux augmente, leurs forces de rappel en réponse à la déformation augmentent aussi et les plis vocaux s'écartent moins, d'une part, et se rapprochent plus rapidement, d'autre part (Berke & Gerratt, 1993; Zhaoyan, 2016). La F0 augmente donc avec la raideur et le contact. Le contrôle des différentes qualités intrinsèques des plis vocaux, par la contraction des TA et des CT, modifie leur fréquence de vibration.

2.2.1.3. Mécanismes

La modification de la fréquence de vibration des plis vocaux, à travers différents mécanismes de phonation, modifie aussi leur contact. Nous distinguons trois mécanismes de vibration : périodique, apériodique et supra-périodique (Gerratt & Kreiman, 2001). Si les deux plis vocaux sont très asymétriques, ils ne vibrent pas à la même fréquence ou avec la même amplitude et se retrouvent en contact seulement un cycle sur deux. Il en résulte une bitonalité caractéristique de la vibration supra-périodique. Dans le mécanisme apériodique, il n'y a pas de vibration à proprement dit mais des pulsations : les plis vocaux sont en contact pendant un temps très long et s'écartent brusquement, une à trois fois, avant de s'accoler de nouveau. Il s'agit du mécanisme basal de phonation, numéroté 0. Ce mécanisme est aussi appelé *pulse*, *creak* ou *fry* en anglais, en raison de l'impression perceptive de grincement ou de grésillement qu'il donne. Il présente des occurrences dans la parole vocale, notamment à la fin des phrases (Abdelli-Beruh, Drugman, & Red Owl, 2015). Il est réalisé avec une contraction extrême des muscles thyro-aryténoïdiens (TA), sans aucune contraction des muscles crico-thyroïdiens (CT) (McGlone & Shipp, 1971; Zhaoyan, 2016). Dans cette configuration musculaire, la longueur des plis vocaux est très courte (Hollien, Damsté, & Murry, 1969). De plus, il est réalisé avec peu de contraction du muscle inter-aryténoïdien (IA) (McGlone & Shipp, 1971). Cliniquement, il est décrit comme un mécanisme de phonation impliquant un relâchement des muscles laryngés extrinsèques et entraînant un abaissement de la position du larynx. Ce mécanisme 0 est caractérisé par une fréquence de vibration des plis vocaux

très basse, inférieure à 80 cycles par seconde, soit 80 Hertz (Hz), et équivalente pour les femmes et les hommes, ainsi que par une surface et une durée de contact des plis vocaux très grandes (Gerratt & Kreiman, 2001; Hollien, Girard, & Coleman, 1977; Murry, 1971; Sorensen & Horii, 1984).

		Muscles thyro-aryténoïdiens (TA)	
		Importante	Négligeable
Muscles crico-thyroïdiens (CT)	Oui	Mécanisme 1	Mécanisme 2
	Non	Mécanisme 0	–

Tableau 2 : contraction des muscles laryngés intrinsèques en fonction du mécanisme de phonation

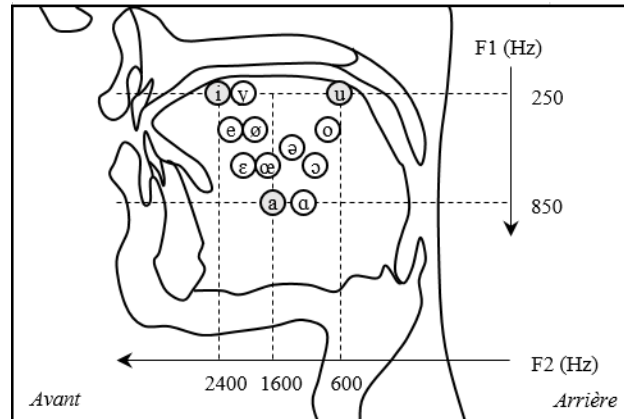
Le mécanisme périodique, quant à lui, correspond à la vibration normale des plis vocaux, telle que nous l'avons décrite plus haut. Il s'agit du mécanisme modal de phonation, numéroté 1, mais il peut également s'agir d'un mécanisme numéroté 2. Le mécanisme 1 est le mécanisme usuel dans la parole vocale (Gerratt & Kreiman, 2001). Dans le chant, il est considéré comme le registre de poitrine, par opposition au mécanisme 2, qui est considéré comme le registre de tête et parfois aussi appelé *falsetto*. Le mécanisme 1 est réalisé avec une contraction combinée des muscles thyro-aryténoïdiens (TA) et crico-thyroïdiens (CT) qui fait varier la fréquence de vibration et le contact des plis vocaux, comme décrit précédemment. Le mécanisme 2, quant à lui, est réalisé avec une contraction importante des CT et peu de contraction des TA (Zhaoyan, 2016). La contraction des CT augmente la longueur des plis vocaux (Damsté, Hollien, Moore, & Murry, 1968). En conséquence, dans le mécanisme 2 de phonation, les plis vocaux sont très longs. Ce mécanisme 2 est caractérisé par une fréquence de vibration des plis vocaux très haute, ainsi qu'une surface et une durée de contact des plis vocaux très petites, voire une absence de contact (Zhaoyan, 2016). Cependant, les fréquences de vibration des mécanismes de phonation 1 et 2 se chevauchent. Par exemple, dans une étude réalisée chez des hommes, le mécanisme 1 s'étendait jusqu'à environ 160 Hertz (Hz), tandis que le mécanisme 2 s'étendait de 100 à 335Hz (Raymond H Colton & Hollien, 1972). Dans les mécanismes de phonation 1 et 2, la position du larynx s'abaisse et s'élève avec la fréquence de vibration (Hollien & Curtis, 1962; Honda, Hirai, Masaki, & Shimada, 1999; Shipp, 1975). La contraction des muscles laryngés pendant la production des trois mécanismes de phonation décrits est résumée dans le Tableau 2. Pour une vibration glottique périodique, son amplitude, sa fréquence et le contact des plis vocaux tendent à augmenter conjointement.

Dans le mécanisme modal de vibration, le mode de phonation, déterminé par l'adduction des plis vocaux, modifie aussi leur contact. La phonation pressée est caractérisée par une forte compression des plis vocaux, donc une grande surface et une longue durée de contact lors de la vibration. La phonation soufflée est, au contraire, caractérisée par un faible accollement des plis vocaux, donc une petite surface et une courte durée de contact (Edmondson & Esling, 2006; Grillo, Perta, & Smith, 2009; Kankare, Laukkanen, Ilomäki, Miettinen, & Pylkkänen, 2012). Il est à noter que la réduction du contact des plis vocaux pendant la vibration renforce l'amplitude spectrale de la première fréquence harmonique (H1), tandis que son augmentation renforce plutôt le deuxième harmonique (H2), voire le quatrième (Zhaoyan, 2016). Lorsque les plis vocaux ne sont pas assez proches de la ligne médiane pour permettre la vibration, une friction d'air glottique est réalisée. Il s'agit du chuchotement. Là encore, il est possible d'observer différents degrés de constriction. Cependant, dans la parole chuchotée, les plis vocaux sont le plus souvent dans une position intermédiaire, entre l'abduction et l'adduction, avec une compression de leurs deux tiers antérieurs variable (Solomon, McCall, Trosset, & Gray, 1989).

2.2.2. Vocalisation

Qu'une vibration ou une friction soit réalisée au niveau du plan glottique, le son ou le bruit se propage ensuite dans les cavités sus-glottiques. D'après la théorie source-filtre, les cavités sus-glottiques agissent comme des résonateurs acoustiques. Selon la forme donnée à ces résonateurs sous l'action des articulateurs sus-glottiques, l'énergie de certaines fréquences du spectre acoustique est renforcée lorsque le son se propage à travers elles (Fant, 1960). Le premier formant (F1) est corrélé au degré d'ouverture de la voyelle : il est le plus bas pour les voyelles les plus fermées /u/ et /i/, à environ 250 Hertz (Hz), et le plus haut pour la voyelle la plus ouverte /a/, à environ 850Hz (Catford, 1988). Le deuxième formant (F2) est corrélé à la position du point de résonance sur l'axe antéro-postérieur : il est le plus bas pour la voyelle la plus postérieure /u/, à environ 600Hz, et le plus haut pour la voyelle la plus antérieure /i/, à environ 2400Hz, tandis qu'il égale environ 1600Hz pour la voyelle centrale /a/ (Catford, 1988). La localisation des voyelles orales du français en fonction de ces deux paramètres articulatoires est schématisée sur la Figure 13.

Le troisième formant, quant à lui, est plutôt corrélé à la configuration des lèvres, arrondies ou étirées, en particulier pour les voyelles antérieures (Fant, 1960). Par ailleurs, des anti-formants apparaissent dans les voyelles nasales, c'est-à-dire pour lesquelles un flux d'air passe aussi par les cavités nasales. Les trois points extrêmes du triangle vocalique, que l'on retrouve en français, sont : le /i/, qui est une voyelle orale, fermée, antérieure et étirée, le /u/ qui est une voyelle orale, fermée, postérieure et arrondie et le /a/, qui est une voyelle orale, ouverte, centrale et étirée.



Paramètres : premier formant (F1) lié à l'ouverture, mesuré en Hertz (Hz) ; deuxième formant (F2) lié au lieu articulaire, mesuré en Hz

Figure 13 : voyelles orales du français en fonction de leur ouverture et de leur lieu articulaire en lien avec la valeur des formants 1 et 2

A noter que, afin d'améliorer le rayonnement du son à la sortie du conduit vocal, l'on peut soit effectuer des ajustements glottiques pour renforcer un harmonique proche du premier formant (F1), le premier (H1) en réduisant le contact des plis vocaux pendant la vibration ou le deuxième (H2) en l'augmentant, soit effectuer des ajustements sus-glottiques pour rapprocher F1 d'une fréquence harmonique, en augmentant ou en réduisant l'ouverture de la cavité orale (Zhaoyan, 2016). Dans tous les cas, la propagation du son dans les cavités de résonance sus-glottiques le modifie et la voix n'est pas le résultat exact de la phonation.

2.2.3. Articulation

2.2.3.1. Phonèmes

Qu'une vibration ou une friction soit réalisée au niveau du plan glottique, il y a aussi un flux d'air qui s'écoule ensuite dans les cavités sus-glottiques. Lors de la réalisation d'un phonème oral,

ce flux d'air s'écoule uniquement par la cavité orale et non par les cavités nasales. L'articulation des phonèmes de la parole consiste à rétrécir plus ou moins l'une ou l'autre partie du conduit vocal grâce aux articulateurs sus-glottiques (Stevens, 1989). L'écoulement du flux d'air est donc régi par des paramètres articulatoires. On distingue notamment deux grands types de phonèmes : les voyelles et les consonnes. Les voyelles sont habituellement décrites en fonction de leur degré d'ouverture. Elles sont caractérisées par un libre écoulement du flux d'air dans le conduit vocal. La résistance articulatoire (AR) à l'écoulement de ce flux d'air est quasiment nulle pour les voyelles ouvertes, comme le /a/, et elle est faible pour les voyelles fermées, comme le /i/ et le /u/ (Beckett & Hallett, 1971). Les consonnes, au contraire, sont habituellement décrites en fonction de leur degré de fermeture. Elles sont caractérisées par la présence d'un obstacle dans le conduit vocal. Cet obstacle peut être un rétrécissement (constriction) ou une fermeture totale (occlusion). Le type d'obstacle détermine le mode articulatoire de la consonne : les consonnes constrictives, aussi appelées fricatives, sont produites par une constriction, créant un bruit de friction, tandis que les consonnes occlusives, aussi appelées plosives, sont produites par une occlusion, créant un bruit d'explosion. L'AR est forte pour les consonnes fricatives et elle est totale pour les consonnes occlusives car, dans ce dernier cas, il n'existe pas de flux d'air oral. Plus l'AR augmente, plus le débit du flux d'air trans-articulatoire (TAF) diminue et plus la pression sus-glottique ou intra-orale (IOP) augmente. Les voyelles et les consonnes sont aussi décrites par le lieu articulatoire, c'est-à-dire le point où les articulateurs sus-glottiques sont les plus proches. Ce lieu articulatoire influence la taille du conduit vocal. Plus il est postérieur, plus le volume des cavités sus-glottiques diminue et plus l'IOP augmente. Par ailleurs, plus l'IOP augmente, plus la différence (ΔGP) avec la pression sous-glottique (SGP) diminue et plus le débit du flux d'air trans-glottique (TGF) qui permet de maintenir la vibration ou la friction glottique diminue. Les relations entre ΔGP , TGF et GR sont illustrées par la Figure 14. Lorsque le TGF diminue, dans le cas d'une vibration glottique, la fréquence et l'amplitude de cette vibration diminuent, de même que le contact des plis vocaux (Bickley & Stevens, 1986; Pinho, Jesus, & Barney, 2012). Lors de la phonation, les paramètres articulatoires, en contraignant l'écoulement du flux d'air, restreignent la vibration glottique.

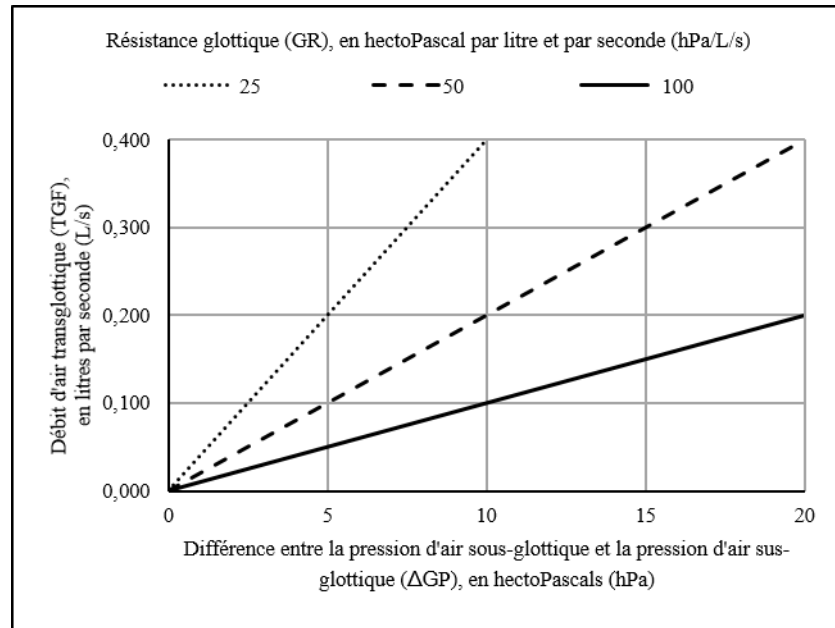


Figure 14 : relation entre les paramètres du flux d'air et la constriction glottique

Dans certains cas, notamment les consonnes, les paramètres articulatoires restreignent tellement la vibration glottique que celle-ci est arrêtée. Certains auteurs soulignent la difficulté du maintien de la vibration pendant la production des consonnes fricatives, pour lesquelles le locuteur doit gérer deux résistances au flux d'air : glottique et sus-glottique ou articulatoire (Haggard, 1978; Liker & Gibbon, 2013; C. L. Smith, 1997). Mais, en théorie, le maintien de la vibration glottique est d'autant plus difficile que le degré de fermeture de la consonne est important, il est donc théoriquement plus difficile pour les consonnes occlusives que pour les fricatives. De même, le maintien de la vibration est d'autant plus difficile que le lieu articulatoire est postérieur. Il existe une théorie selon laquelle la vibration glottique serait une qualité inhérente des voyelles et son absence une qualité inhérente des consonnes (Parker, 1974). En effet, les voyelles sont toujours décrites comme voisées, c'est-à-dire réalisées avec une vibration glottique dans la parole vocale, alors que les consonnes sont décrites avec un contraste de voisement : certaines sont voisées quand d'autres sont non voisées, c'est-à-dire réalisées sans vibration glottique dans la parole vocale. D'après cette théorie, le voisement des consonnes serait engendré par un phénomène de coarticulation, que nous expliquons en détails plus bas. Cette coarticulation causerait une vibration graduelle : à la fin d'une consonne pré-vocalique et au début d'une consonne postvocalique (Parker, 1974). Elle dépendrait de la force articulatoire de la consonne. En particulier, elle serait plus importante pour les consonnes voisées, qui sont réalisées avec une moindre force articulatoire.

Cette théorie découle de l'observation des langues du monde, dans lesquelles il existe davantage de consonnes non voisées que de consonnes voisées (Keating, Linker, & Huffman, 1983). En français, on compte aussi davantage d'occurrences de consonnes occlusives non voisées que de consonnes occlusives voisées (Malécot, 1974). Une telle répartition est également observée pour les consonnes fricatives, au cours du développement de l'inventaire phonétique de l'enfant (van Severen, van den Berg, Molemans, & Gillis, 2012). De plus, il existe des restrictions en fonction du trait de voisement : les consonnes non voisées sont plutôt observées en position initiale et finale alors que les consonnes voisées sont plutôt observées en position médiale (Keating et al., 1983). Enfin, maintenir le voisement dans la consonne postvocalique apparaît plus commun que de l'initier pendant la consonne pré-vocalique (Davidson, 2016). Au total, dans la parole vocale, sans compter les pauses silencieuses, 50 pourcents (%) des segments sont réalisés sans vibration glottique (Fourcin, 2010). L'arrêt de la vibration peut être involontaire – dû aux paramètres articulatoires – ou volontaire lors de la réalisation de consonnes.

2.2.3.2. Gestes

Au niveau phonologique, les phonèmes sont décrits par plusieurs traits articulatoires dont, dans le cas des consonnes, le voisement. Le statut du voisement pour une consonne est généralement associé à la présence ou à l'absence de vibration glottique. Cependant, comme nous l'avons expliqué dans le paragraphe précédent, la vibration glottique est parfois arrêtée pendant la production des phonèmes, voyelles ou consonnes voisées, malgré l'accolement des plis vocaux et le flux d'air trans-glottique. Au niveau de la réalisation phonétique, lorsque l'on considère ces traits articulatoires classiques, la distinction entre la production d'une consonne dévoisée et la production d'une consonne non voisée n'apparaît donc pas. Or, dans cette thèse, nous considérons que l'activité de phonation engage les mêmes muscles laryngés, qu'une vibration glottique soit effectivement réalisée ou non. Nous choisissons alors d'appuyer notre propos sur la théorie motrice de la parole dans laquelle l'unité phonologique considérée n'est pas le trait réalisé, mais la commande motrice (Lieberman, Cooper, Shankweiler, & Studdert-Kennedy, 1967; Lieberman & Mattingly, 1985). Dans la phonologie articulatoire qui découle de cette théorie, les phonèmes sont décrits par plusieurs gestes articulatoires, dont un geste glottique correspondant au voisement, ou du moins à une intention de geste (Browman & Goldstein, 1989, 1992; Goldstein & Browman, 1986). En effet, dans la parole, les cibles des gestes articulatoires ne sont pas toujours atteintes du

fait de la coarticulation (Lieberman & Mattingly, 1985). Le contraste phonologique de voisement correspond donc à la présence ou l'absence d'un geste d'ouverture-fermeture au niveau glottique. Ce geste d'ouverture-fermeture des plis vocaux lors de la production des consonnes non voisées serait stéréotypé et durerait 180 millisecondes (Weismer, 1980). Au niveau phonétique, la présence du geste d'ouverture-fermeture est censée se traduire par l'arrêt et la reprise de la vibration glottique. Cependant, l'arrêt et la reprise de la vibration ne sont pas forcément synchrones avec le geste glottique (Goldstein & Browman, 1986). En effet, la vibration pendant les transitions d'abduction et d'adduction des plis vocaux dépend toujours des paramètres aérodynamiques, et notamment du débit du flux d'air trans-glottique (TGF), mais aussi des qualités intrinsèques des plis vocaux, modifiées par la contraction des muscles thyro-aryténoïdiens (TA) et crico-thyroïdiens (CT). De même, l'absence du geste glottique d'ouverture-fermeture est censée se traduire par le maintien de la vibration glottique. Cependant, comme nous l'avons décrit précédemment, les paramètres articulatoires inhérents à la réalisation des consonnes restreignent fortement la vibration glottique et, dans certains cas, l'arrêtent (Warren & Hall, 1973). Afin de maintenir la vibration pendant la production des consonnes voisées, un ajustement glottique pourrait être réalisé (Stevens, 1989). Cet ajustement pourrait correspondre à un geste opposé au geste d'ouverture-fermeture, c'est-à-dire à un geste de fermeture-ouverture induisant, pendant la réalisation de la consonne voisée, une plus grande adduction des plis vocaux, par rapport à la réalisation d'une voyelle. Le contraste phonologique de voisement pourrait alors correspondre à deux gestes glottiques contraires, mais ceci n'a pas encore été envisagé dans la littérature. Nous allons donc nous borner à décrire la physiologie de l'arrêt de la phonation pour la réalisation du paramètre « non voisé » dans les consonnes.

Dans la phonation modale, l'initiation et le maintien de la vibration glottique mettent en jeu tous les muscles intrinsèques du larynx, excepté les crico-aryténoïdiens postérieurs (PCA). Pendant la production des consonnes non voisées, cette vibration est arrêtée. L'arrêt de la vibration semble dû à des ajustements glottiques, comme décrit dans la théorie motrice de la parole, plutôt qu'à des changements aérodynamiques. En effet, la pression sous-glottique (SGP) est égale pendant la production des consonnes voisées et non voisées (Löfqvist, 1975; Netsell, 1969). Le geste articulatoire est décrit comme un mouvement d'ouverture-fermeture au niveau glottique, pourtant il n'y a pas une abduction complète des plis vocaux. Lors de l'arrêt de la vibration, on observe bien une contraction des PCA, responsables de l'abduction, et une absence de contraction

du muscle inter-aryténoïdien (IA), principal responsable de l'adduction (Hirose & Gay, 1972). En revanche, on observe le maintien de la contraction des muscles crico-aryténoïdiens latéraux (LCA), impliqués dans l'adduction du tiers postérieur des plis vocaux, et des muscles thyro-aryténoïdiens (TA), impliqués dans l'adduction de leurs deux tiers antérieurs (Hirose & Ushijima, 1978). Les plis vocaux sont donc maintenus proches de la ligne médiane, mais l'espace glottique n'est pas totalement fermé. En plus de ce geste latéral, il existe un geste antéro-postérieur. En effet, on observe une augmentation de la contraction des muscles crico-thyroïdiens (CT), responsables notamment de l'allongement, de la tension et du raidissement de toute la partie membraneuse des plis vocaux (Dixit & MacNeilage, 1980; Hirose & Ushijima, 1978; Löfqvist, Baer, McGarr, & Seider Story, 1989). L'arrêt de la vibration semble donc non seulement lié à une petite ouverture des plis vocaux prévenant leur contact, mais aussi à une modification de leurs qualités intrinsèques limitant leur mouvement. Dans ces conditions, les plis vocaux restent proches l'un de l'autre, l'espace glottique est réduit et le flux d'air trans-glottique engendre des turbulences, créant un bruit de friction. D'ailleurs, il persiste une différence entre la SGP et la pression sus-glottique (IOP) pendant la production de ces consonnes (Collier, Lisker, Hirose, & Ushijima, 1979). L'arrêt de la vibration, pour la production des consonnes non voisées, met en jeu tous les muscles intrinsèques du larynx, et surtout les CT, excepté le IA. Les différences d'activité pour les muscles intrinsèques du larynx pendant la production des consonnes voisées et non voisées sont présentées dans le Tableau 3.

Action simplifiée	Muscle	Consonnes	
		Voisées	Non voisées
Adduction	Inter-aryténoïdien	++	-
Adduction et tension	Thyro-aryténoïdien	+	+
	Crico-aryténoïdien latéral	+	+
	Crico-thyroïdien	+	++
Abduction et tension	Crico-aryténoïdien postérieur	-	+

Activité : absence (-) ; présence (+) ; importance (++) .

Tableau 3 : activité des muscles laryngés intrinsèques en fonction du voisement des consonnes

La présence ou l'absence de vibration glottique pendant la consonne n'est pas le seul corrélat phonétique du contraste de voisement. En particulier, au niveau glottique, ce contraste se caractérise non seulement par la présence ou l'absence de vibration mais aussi la présence ou l'absence d'aspiration. Dans certaines langues, comme l'hindi, il existe quatre catégories

contrastives de voisement pour les consonnes. Ces catégories diffèrent par le degré d'ouverture de la glotte avec, du plus petit au plus grand : les consonnes voisées non aspirées, les consonnes non voisées non aspirées, les consonnes voisées aspirées et les consonnes non voisées aspirées (Dixit, 1989). Cependant, en français, toutes les consonnes sont non aspirées (Fougeron & Smith, 1993). Par ailleurs, de nombreuses études font état de différences relatives à la force articulatoire, au niveau sus-glottique, entraînant notamment des différences de durée, avec des consonnes non voisées plus longues que les consonnes voisées (Kohler, 1984; Liker, Horga, & Mildner, 2011; Yoshioka, Murase, & Uematsu, 1996). Les consonnes non voisées sont décrites comme étant réalisées avec davantage de force articulatoire, c'est-à-dire une plus forte contraction des muscles au niveau sus-glottique, que les consonnes voisées (Slis, 1971). Il en résulte que la surface et la durée, voire la pression, de contact des articulateurs lors de la réalisation des occlusives, ou la résistance articulatoire (AR) lors de la réalisation des fricatives, sont plus importantes pour les consonnes non voisées que pour les voisées correspondantes (Liker et al., 2011; Malécot, 1966a; Proffit, Palmer, & Kydd, 1965; Yoshioka et al., 1996). Ces différences sus-glottiques pourraient être en lien avec les différences de pression intra-orale (IOP) engendrées par les configurations glottiques. En effet, d'un point de vue aérodynamique, si la pression sous-glottique (SGP) est identique pour les consonnes voisées et non voisées mais que la résistance glottique (GR) est plus faible pour les non voisées du fait de d'abduction relative des plis vocaux, alors l'IOP et le pic de débit du flux d'air oral ou trans-articulatoire (TAF) lors du relâchement de la consonne sont plus grands pour les non voisées que pour les voisées, comme ceci est couramment observé (Dixit & Brown, Jr, 1978; Gilbert, 1973; Haag, 1977; Malécot, 1966b, 1969, 1970; Miller & Daniloff, 1977; Nihalani, 1975). On observe aussi d'autres différences sus-glottiques en fonction du voisement. D'une part, la cavité laryngée est plus petite – le larynx étant positionné plus haut – pour les consonnes non voisées que pour les consonnes voisées (Bell-Berti, 1975; Ewan & Kronen, 1974; Riordan, 1980). D'autre part, la cavité pharyngée est plus petite – ses muscles constricteurs étant plus contractés – pour les consonnes non voisées que pour les consonnes voisées (Minifie, Abbs, Tarlow, & Kwaterski, 1974; Proctor, Shadle, & Iskarous, 2010). Au final, le voisement est habituellement décrit comme reposant sur trois paramètres : la vibration, l'aspiration et la force d'articulation (Lisker & Abramson, 1971).

2.2.3.3. Transitions

L'articulation de la parole correspond à l'enchaînement des différents gestes, glottiques et sus-glottiques, pour produire les phonèmes. La coordination de ces gestes est connue pour être réalisée sans effort (Loucks, Shosted, De Nil, Poletto, & King, 2010). L'unité principale de la parole, du moins en perception, est la syllabe (Sendlmeier, 1995). La syllabe est constituée d'un noyau vocalique pouvant être seul ou associé à une ou plusieurs consonnes, pré-vocaliques ou postvocaliques (Sendlmeier, 1995). La forme la plus couramment observée est la syllabe simple directe : consonne-voyelle (CV) (Browman & Goldstein, 1988; Krakow, 1999). D'ailleurs, lors du développement de la parole, dans le babillage de l'enfant, les consonnes intervocaliques ont tendance à ressembler phonétiquement aux consonnes pré-vocaliques, c'est-à-dire à se présenter comme dans des syllabes CV (Stoel-Gammon, 2002). Nous notons aussi que, chez le jeune enfant, on observe plus couramment des associations entre les consonnes labiales et les voyelles centrales, les consonnes alvéolaires et les voyelles antérieures ou les consonnes vélares et les voyelles postérieures (Whalen et al., 2012).

Entre les différents gestes articulatoires des phonèmes consécutifs de la parole, il existe des phénomènes de coarticulation et d'assimilation, qui sont parfois considérés comme équivalents. La coarticulation est supposée correspondre à une conséquence mécanique alors que l'assimilation est supposée être causée par une planification cognitive (Whalen, 1990). Dans cette thèse, il nous paraît important de distinguer ces deux phénomènes, c'est-à-dire les conséquences des gestes articulatoires, sus-glottiques et glottiques, et l'effort phonatoire visant à les contrer. En effet, ces phénomènes entraînent tous deux des différences de transitions consonantiques en fonction du voisement, notamment au niveau de la fréquence fondamentale (F0) (Schiefer, 1986). Cependant, leurs effets sur la F0 semblent être opposés. En ce qui concerne la coarticulation, comme nous l'avons décrit, le geste sus-glottique pendant la réalisation des consonnes voisées réduit le débit du flux d'air trans-glottique (TGF) donc modifie la vibration des plis vocaux, notamment en diminuant la F0, voire l'arrête. Au contraire, le geste glottique permettant la réalisation des consonnes non voisées, caractérisé entre autres par l'action des muscles crico-thyroïdiens (CT), augmente la F0. En conséquence, par ce phénomène de coarticulation, la F0 augmente lors de la transition entre une voyelle et une consonne non voisée alors qu'elle diminue lors de la transition entre cette même voyelle et une consonne voisée (Kohler & van Dommelen, 1986). De même, la

F0 est plus haute à l'initiation de la vibration pour une voyelle suivant une consonne non voisée que lors du maintien de la vibration pour une voyelle suivant une consonne voisée (Haggard, Ambler, & Callow, 1970; Schiefer, 1986; Silverman, 1986). En ce qui concerne l'assimilation, les ajustements glottiques permettant de maintenir la vibration pendant la réalisation des consonnes voisées, par l'action des muscles thyro-aryténoïdiens (TA), pourraient limiter la diminution de la F0, voire entraîner une augmentation de celle-ci. Ces mêmes ajustements glottiques permettant de maintenir la vibration pendant les voyelles adjacentes aux consonnes non voisées pourraient limiter l'augmentation de la F0, voire entraîner une diminution celle-ci. La coarticulation est supposée avoir plutôt un effet progressif avec la configuration articulaire précédente modifiant le geste suivant alors que l'assimilation est supposée avoir plutôt un effet régressif avec la cible articulaire suivante modifiant le geste précédent (Whalen, 1990). Dans le cas du voisement, cela orienterait l'étude de l'effort phonatoire vers la transition entre une voyelle pré-consonantique et une consonne voisée et vers la transition entre une consonne non voisée et une voyelle post-consonantique. Les transitions entre les phonèmes semblent constituer des points d'intérêt pour l'étude des gestes articulaires, en particulier glottiques.

2.3. Pathologie

La pathologie de la parole correspond à un trouble de la phonation, au niveau glottique, ou de l'articulation, au niveau sus-glottique. Elle peut avoir une origine organique, c'est-à-dire une cause anatomique telle qu'une lésion muqueuse par exemple, ou une origine fonctionnelle, c'est-à-dire une cause physiologique comme un comportement déviant. Cependant, une dysfonction phonatoire peut causer des lésions muqueuses des plis vocaux, qui limitent la phonation et intensifient alors la dysfonction, engendrant un cercle vicieux. Notre propos étant le comportement d'effort dans la phonation, nous présentons la pathologie d'origine fonctionnelle, ses symptômes et ses lésions induites.

2.3.1. Dysfonctions

La dysfonction phonatoire relève soit d'un comportement de malmenage, soit d'un comportement de surmenage, soit des deux. La notion de malmenage fait référence à une activité

anormale dans la manière, alors que la notion de surmenage fait référence à une activité anormale dans la mesure, on parle alors d'hyperfonction. Le plus souvent, la dysfonction phonatoire associe malmenage et surmenage (Milutinović & Bojić, 1996). La phonation étant une activité qui mobilise un grand nombre de muscles, dont des muscles posturaux, il est fréquent d'observer des tensions corporelles globales chez les patients présentant une hyperfonction phonatoire (Primov-Fever, Lidor, Meckel, & Amir, 2013). Il existe surtout des tensions locorégionales. On retrouve une augmentation de l'activité des muscles laryngés extrinsèques, entraînant notamment une élévation du larynx (Iwarsson & Sundberg, 1998; Redenbaugh & Reich, 1989). On retrouve aussi une augmentation de l'activité des muscles laryngés intrinsèques, entraînant des compressions latérales et antéro-postérieures des plis ary-épiglottiques, des plis ventriculaires et des plis vocaux (Sonnen et al., 1972; Stager, Bielamowicz, Regnell, Gupta, & Barkmeier, 2000). Cette hyperfonction intra-laryngée peut également être observée dans la parole chuchotée, lors de la friction glottique, avec une compression latérale des deux tiers antérieurs des plis vocaux (A. D. Rubin, Praneetvatakul, Gherson, Moyer, & Sataloff, 2006). Comme nous l'avons décrit dans la physiologie de la phonation, la compression des plis vocaux est principalement due à la contraction des muscles qui composent leur corps et modifient leurs qualités vibratoires : les muscles thyroaryténoïdiens (TA). Les muscles laryngés, intrinsèques et extrinsèques, peuvent aussi présenter des asymétries de contraction (Biezanski & Tluchomski, 1965). Quelle que soit la dysfonction phonatoire, celle-ci peut être chronique, c'est-à-dire persistante dans le temps, ou aiguë, c'est-à-dire ponctuelle.

La dysfonction phonatoire posséderait, en plus de sa dimension physique, une dimension psychologique. Les patients souffrant d'une dysphonie d'origine fonctionnelle, pourrait présenter deux profils psychologiques extrêmes et opposés : les patients ne développant pas de lésions muqueuses des plis vocaux auraient tendance à l'introversion, tandis que les patients développant des lésions muqueuses de type nodules auraient tendance à l'extraversion (Roy, Bless, & Heisey, 2000). Un sujet introverti présenterait donc plutôt un malmenage, avec des tensions dues au stress pendant la parole, alors qu'un sujet extraverti présenterait, au contraire, plutôt un surmenage, avec une puissance et une durée de phonation trop importantes. L'extraversion pourrait être la condition d'une dysfonction phonatoire chronique entraînant un cercle vicieux d'effort et de fatigue.

2.3.2. Dysphonies

Comme pour toute activité physique, la phonation requiert un effort, c'est-à-dire une réponse cognitive, kinesthésique et dynamique (Ford Baldner et al., 2015). Lorsque la situation implique une augmentation de la charge vocale, c'est-à-dire qu'elle nécessite d'augmenter la puissance de la phonation, dans un environnement bruyant par exemple, ou d'augmenter sa durée, l'effort phonatoire augmente lui aussi (Aronsson, Bohman, Ternström, & Södersten, 2007). L'effort entraîne une fatigue musculaire et donc une dégradation des capacités phonatoires à tous les niveaux : sous-glottique, sus-glottique et, surtout, glottique (Ford Baldner et al., 2015; Vintturi et al., 2003). Au niveau glottique, on observe un changement des qualités intrinsèques des plis vocaux entraînant une augmentation du seuil de pression phonatoire (PTP) nécessaire pour initier et soutenir la vibration (Chang & Karnell, 2004; Solomon, Glaze, Arnold, & van Mersbergen, 2003). En l'absence d'effort compensatoire, on observe alors une diminution du contact des plis vocaux permettant leur synchronisation pendant la vibration, ainsi qu'une diminution de la fréquence et de l'amplitude de cette vibration (Angerstein & Neuschaefer-Rube, 1998). La fatigue vocale se traduit aussi, en plus de la dégradation des capacités phonatoires, par un inconfort physique qui doit normalement mener le locuteur à se reposer (Nanjundeswaran et al., 2015). Les symptômes de la fatigue vocale diminuent ensuite avec le repos (Nanjundeswaran et al., 2015; Solomon & Stemmler DiMattia, 2000). Cependant, pour diverses raisons, un locuteur peut poursuivre son activité de phonation. Afin de compenser les symptômes de fatigue vocale, il doit alors produire davantage d'effort. L'effort phonatoire se traduit par une augmentation de la fréquence et de l'amplitude de vibration des plis vocaux, ainsi qu'une augmentation de leur contact (Järvinen & Laukkanen, 2015; Laukkanen et al., 2004; Rantala, Lindholm, & Vilkkman, 1998). Lors d'une dysfonction phonatoire chronique, un cercle vicieux d'effort et de fatigue s'instaure.

L'effort phonatoire et la fatigue qui lui est associée ont des conséquences opposées sur le mode de vibration des plis vocaux. Si l'effort est trop important par rapport à la fatigue, l'amplitude de vibration, la fréquence de vibration et le contact des plis vocaux peuvent être trop grands. Les caractéristiques de ce mode de vibration se traduisent alors par une voix trop forte, trop aiguë ou trop pressée. Si la fatigue est trop importante et que l'effort ne peut plus la compenser, au contraire, cette amplitude, cette fréquence et ce contact peuvent être trop petits. La voix est alors trop faible,

trop grave ou trop soufflée. De plus, si le contact des plis vocaux diminue, ou que leur asymétrie augmente, leur synchronisation pendant la vibration diminue. Un défaut de synchronisation peut entraîner une irrégularité de vibration, donc une voix rauque, voire une vibration supra-périodique, donc une voix bitonale. Par ailleurs, dans la parole vocale, nous avons vu que la vibration était arrêtée fréquemment pour la production des consonnes non voisées. Lorsque la fatigue vocale augmente, le locuteur doit donc produire davantage d'effort pour initier, voire pour soutenir, la vibration des plis vocaux et des dévoisements de phonèmes voisés peuvent survenir, notamment aux abords des consonnes non voisées (Iwarsson & Fredso, 2014). Le cercle vicieux d'effort et de fatigue dans la phonation peut causer une dysphonie, un trouble de la voix perceptible et mesurable.

2.3.3. Lésions

Dans certaines conditions, la dysfonction phonatoire peut engendrer des lésions muqueuses des plis vocaux, comme les nodules. Pour Dejonckere, ces conditions sont : une réduction de l'accolement des plis vocaux, une limitation de leur contact par la courbe particulière des plis vocaux chez les femmes ou l'augmentation de cette courbe due à la fatigue vocale, une amplitude de vibration suffisante et une augmentation de la pression sous-glottique (SGP) due à l'effort phonatoire ou une réduction de la tension des plis vocaux due à la fatigue vocale (Dejonckere & Kob, 2009). De manière générale, lors de la vibration glottique, la plus forte pression mécanique due au contact des plis vocaux est exercée au milieu de leur partie membraneuse, c'est-à-dire à la limite entre leur premier et leur deuxième tiers (Jiang & Titze, 1994). C'est précisément en ce point qu'apparaissent les lésions muqueuses bénignes des plis vocaux de type nodules, qui sont généralement bilatérales et résultent plutôt d'une dysfonction phonatoire chronique. C'est aussi en ce point qu'apparaissent les lésions muqueuses bénignes de type polypes, qui sont généralement unilatérales et résultent plutôt d'une dysfonction phonatoire aigüe. Dans les faits, l'impact répété des plis vocaux en ce point entraîne une inflammation, puis un œdème sous-muqueux et, enfin, des lésions nodulaires, c'est-à-dire des épaissements muqueux. L'irritation de la muqueuse des plis vocaux, due à des substances comme le tabac, le reflux gastro-œsophagien (RGO) ou certains traitements de l'asthme, peut participer de cette pathogénèse. Les nodules sont aussi plus fréquents chez les femmes (Hillman et al., 1989; Sonninen et al., 1972). Les lésions des plis vocaux qui apparaissent dans le cadre d'une dysfonction phonatoire sont donc engendrées par leur contact.

3. L’effort

L’effort correspond à la perception par un individu de la force musculaire qu’il déploie pour réaliser une activité physique (Ford Baldner et al., 2015). Dans la production de la parole, puisque nous distinguons la phonation, la vocalisation et l’articulation, nous distinguons aussi l’effort phonatoire, l’effort vocal et l’effort articuloire. Nous considérons que l’effort phonatoire correspond à la force musculaire déployée dans le but d’engendrer une vibration des plis vocaux. Dans des conditions normales, la parole vocale n’implique pas un effort phonatoire perceptible (Ford Baldner et al., 2015). En revanche, lorsque la charge vocale augmente, l’effort phonatoire augmente lui-aussi et peut alors être perçu par le locuteur. La charge vocale peut être élevée par des facteurs externes, comme le bruit ambiant ou la distance entre les interlocuteurs, ou par des facteurs internes, notamment comportementaux, entraînant un malmenage ou un surmenage vocal. L’effort phonatoire est aussi plus important chez les patients présentant des lésions des plis vocaux. Pour étudier l’effort, de manière générale, il est nécessaire de mettre en relation la perception interne de l’individu et, au moins, un phénomène physique externe. Pour cela, il est indispensable de développer des mesures quantitatives fiables et applicables dans la pratique clinique, aussi bien perceptives que physiques. Au niveau perceptif notamment, le développement d’une mesure

réplicable ne va pas sans poser de problèmes. Nous essayons ici de définir l'effort de production de la parole ainsi que les méthodes d'élicitation et d'évaluation de cet effort.

3.1. Définition

L'effort de production de la parole correspond à la perception par un individu de l'action des muscles impliqués dans cette activité (Ford Baldner et al., 2015). Nous savons que la production de la parole, qu'elle soit chuchotée ou vocale et, pour cette dernière, qu'elle soit modale ou non, met en jeu de nombreux muscles. D'une part, elle met en jeu des muscles posturaux, notamment les muscles respiratoires au niveau sous-glottique, mais aussi les muscles laryngés extrinsèques, qui sont responsables de la stabilité du larynx dans le cou. D'autre part, elle met en jeu les muscles laryngés intrinsèques au niveau glottique et les muscles articulateurs au niveau sus-glottique, qui présentent la particularité notable d'être résistants à la fatigue (Kent, 2004). Parmi ceux-ci, d'abord, les muscles laryngés intrinsèques sont responsables de la phonation dans la parole vocale, c'est-à-dire de la constriction glottique. Cette constriction est aussi présente dans la parole chuchotée (Sundberg, Scherer, Hess, & Müller, 2010). Ils sont donc en lien avec la réalisation du voisement des phonèmes. Les muscles articulateurs, ensuite, sont responsables de la vocalisation et de l'articulation, c'est-à-dire notamment de la constriction ou de l'occlusion des différentes portions de la cavité orale. Ils sont donc en lien avec les autres paramètres articulatoires des phonèmes, dont la réalisation du mode et du lieu articulatoire. Dans la production de la parole, nous distinguons donc l'effort phonatoire, d'une part, et les efforts vocal et articulatoire, d'autre part.

3.1.1. Sous-glottique

La phonation nécessite une constriction glottique et un flux d'air trans-glottique. Le flux d'air est engendré par l'expiration phonatoire, sous l'action de muscles sous-glottiques. L'effort phonatoire peut donc correspondre à un effort expiratoire. D'ailleurs, les patients qui souffrent de pathologies laryngées entraînant un défaut d'accolement des plis vocaux, comme une paralysie récurrentielle unilatérale ou, au contraire, une trop forte compression des plis vocaux, dans le cas d'une dysphonie spasmodique par exemple, se plaignent souvent d'un essoufflement. Ceci mène régulièrement les orthophonistes à rééduquer la respiration et non la phonation dans son ensemble.

Pourtant, dans le cas des troubles de la voix d'origine fonctionnelle, cet effort sous-glottique est secondaire à l'effort glottique. En effet, c'est l'excès de constriction glottique, entraînant un excès de contact des plis vocaux, notamment au niveau de la jonction entre leurs deux tiers antérieurs, qui engendre les lésions de type nodules.

3.1.2. Glottique : Effort phonatoire

L'effort phonatoire correspond davantage à un effort de constriction glottique qu'à un effort expiratoire. Cependant, une constriction glottique est également observée dans la parole chuchotée, ainsi que pendant la réalisation des consonnes non voisées dans la parole vocale. Il est donc important de distinguer l'effort laryngé global, déployé pour rétrécir le passage de l'air, de l'effort phonatoire, déployé pour faire vibrer les plis vocaux.

L'effort phonatoire, qui nous intéresse plus particulièrement, correspond à l'effort perçu par un individu au niveau des muscles laryngés intrinsèques lorsqu'il essaie de faire vibrer ses plis vocaux (Ford Baldner et al., 2015; Laukkanen, Lindholm, & Vilkman, 1995). Cet effort phonatoire peut apparaître pendant la réalisation des voyelles, mais aussi des consonnes phonologiquement voisées, dans la parole vocale. Il n'est pas lié à la vibration effective des plis vocaux mais au geste laryngé ayant pour objectif cette vibration. Si l'effort phonatoire est en lien avec la commande motrice du geste laryngé de voisement, il pourrait être perçu par un auditeur, chez un locuteur, par le biais des neurones miroirs. En effet, d'après la théorie motrice de la parole, l'auditeur perçoit les gestes articulatoires suite à l'activation, en deçà d'un certain seuil, de ses neurones moteurs impliqués dans la production de la parole (Lieberman et al., 1967). Pourtant, l'action de ces muscles laryngés, résistant à la fatigue, est usuellement non perçue par les locuteurs (Ford Baldner et al., 2015).

Des facteurs psychologiques et physiques contribuent à la perception de l'effort phonatoire mais ne doivent pourtant pas être confondu avec lui (Ford Baldner et al., 2015). Parmi les facteurs psychologiques, nous comptons les fonctions cognitives de mémoire, d'attention, de jugement, d'orientation temporo-spatiale et de raisonnement, mais aussi le langage. La perception de l'effort phonatoire, comme de l'effort articulatoire, a tendance à augmenter avec la charge cognitive et donc avec la complexité linguistique. Parmi les facteurs psychologiques, nous comptons aussi les fonctions non cognitives telles que l'affect, l'idéation, le comportement par rapport à soi-même et

par rapport aux autres. La perception de l'effort phonatoire varie donc en fonction du profil psychologique de l'individu et en fonction du contexte, c'est-à-dire du niveau de stress. Ensuite, parmi les facteurs physiques, nous comptons d'abord des facteurs physiologiques comme la forme physique, la capacité pulmonaire, l'état des tissus, notamment au niveau des plis vocaux, ou le recrutement d'autres muscles lors de la réalisation d'une activité physique concomitante. En particulier, la perception de l'effort phonatoire a tendance à augmenter avec l'inflammation des plis vocaux ou le développement de lésions muqueuses sur ces plis vocaux. Nous comptons aussi des facteurs aérodynamiques : la perception de l'effort phonatoire tend à augmenter avec la différence de pression d'air autour de la glotte (ΔGP). Enfin, nous comptons des facteurs acoustiques : l'effort phonatoire tend à augmenter lorsque le retour auditif diminue ou se détériore. L'effort phonatoire ne doit pas non plus être confondu avec la fatigue vocale qui correspond, elle, à la dégradation des capacités de phonation, mais aussi de vocalisation, dans le temps (Ford Baldner et al., 2015).

3.1.3. Sus-glottique

3.1.3.1. Effort vocal

La plupart des cliniciens et des chercheurs confondent l'effort phonatoire avec l'effort vocal et utilisent le terme d'effort vocal pour désigner cet ensemble. En effet, dans la parole vocale, la phonation est obligatoirement modifiée par la vocalisation puisque la vibration d'air réalisée au niveau glottique traverse ensuite les cavités sus-glottiques. Le phénomène observé, la voix, résulte donc d'un effort phonatoire, au niveau glottique, suivi par un effort vocal, au niveau sus-glottique. Cependant, l'effort vocal, dans son acception stricte, correspond à l'effort perçu par un individu lorsqu'il essaie de modifier l'ouverture de la cavité orale afin d'ajuster le premier formant (F1). Comme nous l'avons vu plus haut, le rayonnement du son à la sortie du conduit vocal peut être amélioré en rapprochant F1 du premier harmonique (H1) ou du deuxième harmonique (H2), qui dépendent de la fréquence fondamentale (F0) de vibration des plis vocaux. L'effort vocal peut donc permettre de compenser un trouble de la vibration des plis vocaux.

3.1.3.2. Effort articulatoire

L'effort articulatoire correspond à l'effort perçu par un individu au niveau des muscles sus-glottiques lorsqu'il essaie de modifier la configuration du conduit vocal. Cet effort est notamment en lien avec le réglage de la fermeture de la cavité orale, son degré et son point, pour la production des consonnes. En particulier, il est supposé plus important pour les consonnes non voisées que pour leurs correspondantes voisées (Slis, 1971). Il est aussi en lien avec le réglage du degré et du point d'ouverture de la cavité orale, pour la production des voyelles. Il englobe donc l'effort vocal. Par ailleurs, l'effort articulatoire est en lien avec la fermeture ou l'ouverture des cavités nasales et avec l'étirement ou l'arrondissement des lèvres, pour la production de tous les phonèmes.

3.2. Elicitation

Afin d'étudier l'effort phonatoire, qui n'est pas usuellement perçu, il peut s'avérer nécessaire de l'intensifier afin de le rendre perceptible. Par ailleurs, la comparaison entre différents niveaux d'effort pendant la phonation chez un même individu peut permettre de dégager des indices de cet effort. L'élicitation de l'effort phonatoire peut être effectuée en augmentant la charge vocale, c'est-à-dire en modifiant la manière ou la mesure dans l'activité de phonation. En ce qui concerne la manière, trois options sont couramment envisagées qui, de manière générale, reviennent toutes à augmenter la compression des plis vocaux sous l'action des muscles laryngés intrinsèques et notamment des muscles thyro-aryténoïdiens (TA), considérés comme les muscles vocaux. Nous présentons ces options dans l'ordre chronologique de leur développement pour l'étude de l'effort phonatoire. La première consiste à augmenter l'amplitude de vibration des plis vocaux, en produisant une voix plus forte, donc en modifiant l'intensité vocale. La deuxième consiste à augmenter la fréquence de vibration des plis vocaux, en produisant une voix plus aigüe, donc en modifiant la hauteur vocale. Cette option entraîne aussi une augmentation de la tension, de la rigidité et de la longueur des plis vocaux sous l'action des muscles crico-thyroïdiens (CT). La troisième option consiste à augmenter le contact des plis vocaux, en produisant une voix plus pressée, c'est-à-dire en modifiant la qualité vocale. Ces trois options sont parfois envisagées simultanément (Verdolini, Hess, Titze, Bierhals, & Gross, 1999). Physiologiquement, lors de la phonation, l'amplitude et la fréquence de vibration des plis vocaux ainsi que leur contact

augmentent conjointement. En ce qui concerne la modification de la mesure dans l'activité de phonation, l'option envisagée dans des études récentes consiste à augmenter la durée de la production. Nous présentons ici les techniques de variation de l'intensité, de la hauteur, de la qualité et de la durée de la production vocale qui permettent d'éliciter l'effort phonatoire.

3.2.1. Manière

La modification de la manière dans l'activité de phonation correspond à une simulation de malmenage vocal. Dans des conditions normales, les locuteurs produisent la parole sans effort, à un niveau dit confortable. Pour la hauteur par exemple, le seuil de pression phonatoire (PTP), qui est souvent considéré comme un indice de l'effort phonatoire, comme nous l'expliquons plus bas, est à son niveau minimal pour la production usuelle et augmente, non seulement pour la voix plus aiguë, mais aussi pour la voix plus grave (Solomon, Ramanathan, & Makashay, 2007). Cependant, les paramètres vocaux, notamment l'intensité et la hauteur de la voix, peuvent varier d'une session d'enregistrement acoustique à l'autre (Brown, Jr, Morris, & Murry, 1996; Brown, Jr, Murry, & Hughes, 1976). Ceci suggère que les locuteurs adaptent leur comportement phonatoire en fonction des situations afin de produire un effort phonatoire suffisant. Toute modification de la vibration des plis vocaux par rapport à la phonation usuelle nécessite donc un effort phonatoire supérieur.

3.2.1.1. Intensité

L'idée d'augmenter l'intensité vocale, c'est-à-dire de produire une voix plus forte, pour augmenter l'effort phonatoire paraît intuitive. En effet, l'intensité correspond à une énergie. Cependant, la perception de l'intensité vocale et la perception de l'effort de production de la parole chez un locuteur, par un auditeur, sont différentes (Brandt, Ruder, & Shipp, 1969). Cette option présente l'avantage de pouvoir être utilisée en parole chuchotée car il est possible de faire varier l'intensité sonore de la friction glottique (Sundberg et al., 2010). Les variations d'intensité vocale ou sonore peuvent être induites sur simple consigne de l'expérimentateur (Huang, Minifie, Kasuya, & Lin, 1996; Lieberman, Knudson, & Mead, 1969). En effet, même un locuteur naïf peut concevoir ce à quoi correspond une voix ou un chuchotement faible et une voix forte ou un chuchotement fort. Cependant, il apparaît difficile de maintenir une voix très forte au cours du temps, du fait de la fatigue vocale. Certains auteurs ont donc recours à une technique qui consiste à augmenter le

bruit ambiant afin d'inciter le locuteur à augmenter l'intensité de sa voix (Huber, Chandrasekaran, & Wolstencroft, 2005; Leeper, Jr & Noll, 1972). Cet effet du bruit ambiant, connu sous le nom d'effet Lombard, reste limité car il nécessite tout de même une volonté de poursuivre l'activité de production de la parole, donc la communication, de la part du locuteur. Or, dans des expériences de laboratoire, lorsqu'un locuteur se trouve seul dans un pièce insonorisé et a pour instruction de lire un texte par exemple, sa motivation pour parler plus fort que le bruit ambiant est limitée. D'autres auteurs ont recours à une technique qui consiste, non seulement à introduire un auditeur, mais en plus à augmenter la distance physique entre le locuteur et cet auditeur (Traunmüller & Eriksson, 2000). Cependant, dans la pratique, l'expérimentateur demande souvent au locuteur d'imaginer l'auditeur. Quoi qu'il en soit, cet effet de la distance reste lui aussi limité par l'aspect non écologique de la communication pendant l'expérimentation. Par ailleurs, dans la production de la parole vocale, lorsqu'un individu augmente l'intensité de sa voix, c'est-à-dire l'amplitude de vibration des plis vocaux, il augmente également l'amplitude de ses mouvements articulatoires (Schulman, 1989). Le fait d'augmenter l'intensité la parole vocale induit donc non seulement un effort phonatoire mais aussi un effort articulatoire.

3.2.1.2. Hauteur

L'idée d'augmenter la hauteur vocale, c'est-à-dire de produire une voix plus aigüe, pour augmenter l'effort phonatoire est moins intuitive. Pourtant, plusieurs auteurs considèrent que l'augmentation de la hauteur est plus efficace que l'augmentation de l'intensité pour induire un effort phonatoire (Brandt, 1972; Perkins & Koike, 1969). En clinique, nous observons souvent une augmentation de la hauteur de la voix, et non une augmentation de l'intensité, chez les patients présentant des lésions muqueuses des plis vocaux ou une paralysie unilatérale. Ce comportement est vu comme un effort compensatoire de l'asymétrie de vibration ou du défaut d'accolement des plis vocaux. L'augmentation de la hauteur dans la parole peut correspondre à l'accentuation d'une syllabe, à la communication d'un message important ou à l'expression d'une émotion primaire parmi la joie, la peur, la colère et le dégoût (Evans, 2015). Comme pour l'intensité de la voix, les variations de la hauteur peuvent être induites sur simple consigne car même les locuteurs naïfs conçoivent ce à quoi correspond une voix grave ou une voix aigüe. De plus, selon les capacités des individus, les variations de hauteur peuvent aussi être réalisées sur imitation d'un son pur. Cette technique présente l'avantage d'un contrôle précis de la hauteur et donc de l'effort phonatoire,

mais elle ne peut être appliquée que pour la production de voyelles isolées puisque, dans la parole, la prosodie entraîne aussi des variations de hauteur au cours du temps. Par ailleurs, il est à noter que le bruit ambiant et la distance entre les interlocuteurs ont également pour effet d'entraîner une augmentation de la hauteur de la voix, en plus d'une augmentation de l'intensité (Evans, 2015; Summers, Pisoni, Bernacki, Pedlow, & Stokes, 1988). Il est à noter aussi que la hauteur vocale n'est pas la même chez les femmes et chez les hommes. Chez les femmes, par exemple, des mesures réalisées auprès d'une trentaine d'individus de langue première anglaise révèlent une fréquence usuelle entre 201 et 207 Hertz (Hz), c'est-à-dire plus de 200 cycles vibratoires par seconde (Linke, 1973; Zraick, Gentry, Smith-Olinde, & Gregg, 2006). De même, la hauteur vocale n'est pas la même chez les individus jeunes et chez les individus plus âgés. Chez les femmes, elle a tendance à diminuer avec l'âge (Awan & Mueller, 1992). Par ailleurs, puisque la hauteur de la voix dépend de la fréquence de vibration des plis vocaux, ses variations ne sont pas linéaires. En effet, doubler la fréquence permet d'augmenter la hauteur de 12 demi-tons (dT). Il y a donc 12 notes de différence entre une voix produite à 110 Hz et une voix produite à 220 Hz mais seulement 7 notes de différence entre cette dernière et une voix produite à 330 Hz. Par ailleurs, à un certain point, l'augmentation de la hauteur de la voix nécessite le relâchement partiel des muscles thyroaryténoïdiens (TA), situé dans les plis vocaux, et une contraction extrême des muscles cricothyroïdiens (CT). Dans cette configuration, la vibration des plis vocaux reste périodique mais son mécanisme change (mécanisme 2) et ne correspond plus à la phonation modale (mécanisme 1), usuellement produite dans la parole vocale. Le fait d'augmenter la hauteur de la parole vocale induit donc non seulement un effort phonatoire mais aussi potentiellement un changement de mécanisme de vibration.

3.2.1.3. Qualité

L'idée de modifier la qualité vocale, notamment en produisant une voix plus pressée, pour augmenter l'effort phonatoire n'apparaît pas intuitive. En effet, la notion de qualité vocale évoque plutôt les notions de timbre ou de résonance de la voix, c'est-à-dire des paramètres davantage en lien avec la vocalisation qu'avec la phonation. Pourtant, la qualité de la voix a bien un corrélat vibratoire : la durée de contact des plis vocaux. Les variations de qualité ne peuvent souvent pas être induites sur simple consigne, surtout chez des locuteurs naïfs, car ceux-ci ne se représentent pas aisément ce à quoi correspond une voix soufflée, excepté chez certaines chanteuses connues

qui ont recourt à ce type de voix, et encore moins ce à quoi correspond une voix pressée. D'ailleurs, la voix pressée est également appelée indifféremment « dure », « serrée » ou « forcée », ce qui témoigne de notre difficulté à la définir. Les expérimentateurs optent donc parfois pour une technique d'imitation de la qualité vocale (Grillo et al., 2009). Dans d'autres cas, ils optent plutôt pour le recrutement de locuteurs experts de la voix (Grillo, Verdolini Abbott, & Lee, 2010). Enfin, dans une étude récente, un retour chiffré de la pression d'air sus-glottique, c'est-à-dire intra-orale (IOP), est proposé pour aider les locuteurs à faire varier leur qualité vocale (Lien, Michener, & Stepp, 2014). Des indices tels que le quotient de contact (CQ), la pression mécanique de contact (MCP) entre les plis vocaux, la résistance glottique (GR) ou l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) nous semblent plus adaptés que l'IOP pour le contrôle de ce paramètre vocal. Cependant, ces indices paraissent difficilement utilisables en cas de défaut d'accolement des plis vocaux, notamment les deux premiers qui reposent sur des mesures physiologiques du contact lui-même. En cas d'absence de contact des plis vocaux, les deux autres indices, qui reposent, pour l'un, sur des mesures aérodynamiques et, pour l'autre, sur des mesures acoustiques, ne peuvent être utilisés que pour des comparaisons intra-individuelles. Par exemple, lorsque la valeur de H1-H2 est positive, cela signifie que la voix est soufflée. Si un locuteur présente une valeur usuelle de 10 décibels (dB) puis une valeur de 5dB en modifiant sa qualité vocale, même si la voix reste soufflée, on peut considérer qu'elle est davantage pressée. Le fait de modifier la qualité vocale, en produisant une voix pressée, induit donc un effort phonatoire mais l'élicitation et l'évaluation de cette production sont ardues.

3.2.2. Durée

La modification de la mesure dans l'activité de phonation correspond à une simulation de surmenage vocal. Plus la durée de la phonation augmente et plus la fatigue vocale augmente. Cette fatigue entraîne une diminution des capacités phonatoires (Ford Baldner et al., 2015; Vintturi et al., 2003). Lorsque l'activité de phonation est poursuivie malgré la diminution de ces capacités, l'effort phonatoire augmente en compensation (Aronsson et al., 2007). Récemment, les études des paramètres temporels de la phonation sont apparues : elles visent notamment à quantifier le temps de phonation usuel (Szabo Portela, Hammarberg, & Södersten, 2013). L'idée d'augmenter la durée de l'activité de phonation pour augmenter l'effort phonatoire paraît logique. En effet, chacun peut

comprendre qu'une activité musculaire prolongée entraîne un effort. Cependant, la sensation de fatigue vocale motive normalement un arrêt de l'activité de phonation (Nanjundeswaran et al., 2015). L'allongement du temps de phonation est typiquement obtenu grâce à des tâches de lecture de textes longs. En général, ces tâches durent au moins 45 minutes (Laukkanen et al., 2004; Lauri, Alku, Viikman, Sala, & Sihvo, 1997; Solomon, Garlitz, & Milbrath, 2000; Vintturi et al., 2003). Pour comparaison, dans d'autres expérimentations, les tâches réalisées par les locuteurs peuvent durer entre une seconde pour une production de voyelle isolée et une minute pour une production de parole connectée (Zraick, Birdwell, & Smith-Olinde, 2005; Zraick, Skaggs, & Montague, 2000). Le fait d'augmenter la durée de la production vocale induit donc un effort phonatoire mais requiert un temps d'expérimentation très important.

3.3. Evaluation

Afin d'étudier l'effort phonatoire, qui correspond à la perception d'une activité physique, il est nécessaire de mettre en lien au moins un paramètre perceptif et un paramètre physique. Une évaluation qualitative de ces paramètres ne permet pas de comparaisons interindividuelles, ni même intra-individuelles. L'évaluation de l'effort phonatoire doit donc être quantitative. En ce qui concerne les paramètres physiques, s'ils peuvent souvent être mesurés, la sélection des mesures adaptées à l'effort phonatoire n'est pas évidente. En ce qui concerne les paramètres perceptifs, c'est la mesure qui n'est pas évidente, en particulier quand il s'agit, comme dans le cas de l'effort phonatoire, d'une perception interne au locuteur. Cependant, des auteurs ont tenté de développer des mesures perceptives adaptées. Nous présentons ici ces mesures perceptives, ainsi que des mesures physiques : physiologiques, aérodynamiques et acoustiques.

3.3.1. Mesures perceptives

L'évaluation perceptive de l'effort phonatoire, lorsqu'elle est quantitative, peut être réalisée à l'aide de différentes échelles (Ford Baldner et al., 2015). Les échelles habituellement utilisées permettent d'évaluer des phénomènes psychologiques ou physiologiques. Or, l'effort phonatoire présente ces deux composantes simultanément. Une échelle spécifique de perception de l'effort a donc été développée puis adaptée à l'activité de phonation (Ford Baldner et al., 2015). Cependant,

cette échelle ne semble pas sensible à l'effort phonatoire. Il n'existe donc pas, actuellement, de mesure perceptive adéquate pour l'évaluation de l'effort phonatoire. En revanche, il existe une méthode de mesure perceptive de l'effort articulatoire qui repose sur des comparaisons binaires. Nous présentons d'abord succinctement ces échelles inutilisables pour l'évaluation de l'effort phonatoire, puis les comparaisons utilisables pour l'évaluation de l'effort articulatoire.

3.3.1.1. Echelles

Les échelles d'évaluation perceptive peuvent être catégorielles ou continues, bornées ou illimitées, relatives ou absolues, linéaires ou exponentielles, unidirectionnelles ou bidirectionnelles et elles peuvent contenir un minimum, un point neutre ou un zéro (Ford Baldner et al., 2015). Les échelles psychologiques sont diverses mais ne permettent pas les comparaisons interindividuelles. L'une d'elles, par exemple, consiste à attribuer un nombre au degré d'effort perçu. Dans ce cas, deux individus peuvent choisir des nombres très différents pour représenter un effort comparable. Une autre consiste à placer un point sur un segment de ligne. L'absence d'unité rend l'utilisation de cette échelle aléatoire. Une dernière échelle consiste à choisir une catégorie parmi plusieurs. Celle-ci donne une illusion de linéarité mais ne permet pas d'obtenir une mesure quantitative. Par ailleurs, les échelles physiologiques consistent à indiquer une catégorie sur une échelle linéaire contenant un zéro absolu. Elles ne semblent pas adaptées à un phénomène comme l'effort, qui est par nature relatif et exponentiel.

Sévérité	Echelle
Aucun effort vocal	0
Effort vocal très très léger (juste perceptible)	0,5
Effort vocal très léger	1
Effort vocal léger	2
Effort vocal modéré	3
Effort vocal un peu sévère	4
Effort vocal sévère	5
	6
Effort vocal très sévère	7
	8
Effort vocal très très sévère (presque maximal)	9
Effort vocal maximal	10

Tableau 4 : échelle de Borg (1990) adaptée pour l'évaluation de l'effort vocal (Ford Baldner et al., 2015)

Une échelle perceptive adaptée à l'évaluation de l'effort devrait donc être catégorielle pour faciliter sa réalisation, avec un équivalent numérique pour permettre des comparaisons interindividuelles et des correspondances avec les mesures physiques. Elle devrait aussi être unidirectionnelle et bornée entre un minimum et un maximum qu'un individu naïf serait à même de concevoir, donc relative, et exponentielle, c'est-à-dire que le double d'un nombre doit correspondre au double d'effort. Une telle échelle a été développée par Gunnar Borg et sa version datant de 1990 a été adaptée à l'effort phonatoire (Ford Baldner et al., 2015). Elle est reproduite dans le Tableau 4, avec notre traduction personnelle de l'anglais au français.

Cette échelle d'évaluation perceptive de l'effort phonatoire a été testée auprès de participants témoins et de patients présentant des dysfonctions phonatoires, des lésions muqueuses ou des paralysies des plis vocaux. Il était demandé à chaque locuteur d'indiquer le niveau d'effort ressenti pour plusieurs tâches de production vocale, directement après la réalisation de chacune des tâches. La réduction de l'intervalle de temps entre la réalisation de la phonation et son évaluation permet de cibler cette activité physique et d'éviter les biais mnésiques notamment. L'expérience n'a pas mis en évidence de différence significative entre les locuteurs sains et les patients (Ford Baldner et al., 2015). L'auteur suppose que l'effort phonatoire est un phénomène trop subtil pour être discriminé par cette échelle. Elle évoque les avantages que présenterait une mesure perceptive binaire (oui/non) de l'effort phonatoire, notamment pour les comparaisons interindividuelles, tout en soulignant néanmoins l'intérêt de mesurer des degrés d'effort, surtout pour les comparaisons intra-individuelles. Une méthode de comparaison de l'effort dans des paires d'items paraît pouvoir allier les deux : il s'agit de la répétition d'un choix binaire qui permet d'obtenir un pourcentage de réponses. Cette méthode est utilisable pour évaluer des différences sensibles qui ne peuvent pas être mesurées de façon absolue (Malécot, 1955).

3.3.1.2. Comparaisons

Il n'existe, à notre connaissance, que trois études d'auto-perception de l'effort réalisées avec la méthode des comparaisons par paires, qui portent toutes sur l'articulation. Ces trois études ont été réalisées en anglais. L'une était réalisée en parole vocale modale uniquement, l'autre en parole chuchotée uniquement et la dernière en parole vocale modale, en parole chuchotée et en parole

subvocale c'est-à-dire respectivement avec une vibration glottique, avec une friction glottique, et sans activité glottique.

La documentation dont nous disposons concernant la première étude est lacunaire (Malécot, 1955). L'auteur décrit une expérimentation portant sur 12 consonnes (C) associées à la voyelle /a/ (V) dans des structures de type VCV, mais il ne spécifie pas comment les paires ont été formées ni combien de paires ont été étudiées. Le critère d'inclusion des consonnes était la possibilité de les transcrire alphabétiquement par un graphème simple afin d'éviter la complexité linguistique. La consigne de la tâche était de lire chaque paire d'items en parole vocale modale et de choisir l'un des deux selon un critère qui n'est pas indiqué. L'auteur rapporte avoir collecté des données auprès de 125 participants qui étaient tous des étudiants en linguistique. Les résultats de cette expérience sont reproduits dans le Tableau 5, sans précision du nombre de fois où chaque item a été perçu comme le plus difficile à produire. L'auteur les interprète comme suit : en ce qui concerne le voisement, les consonnes non voisées sont perçues comme plus difficiles à produire que les consonnes voisées, excepté pour les fricatives apico-alvéolaires /s/ et /z/ ; en ce qui concerne le mode articulaire, les consonnes occlusives sont perçues comme plus difficiles à produire que les consonnes fricatives ; en ce qui concerne la nasalité, ces consonnes orales sont perçues comme plus difficiles à produire que les consonnes nasales ; et en ce qui concerne le lieu articulaire, les consonnes dorso-vélaires (postérieures) sont perçues comme plus difficiles à produire que les consonnes bilabiales ou labiodentales (antérieures) et celles-ci sont perçues comme plus difficiles à produire que les consonnes apico-alvéolaires (médianes). Ces résultats paraissent très « propres » et pourraient correspondre à une projection, de la part des étudiants, des théories de leur professeur. En effet, Malécot formule notamment l'hypothèse que l'effort articulaire est plus important dans la production des consonnes non voisées que dans la production de leurs correspondantes voisées.

Consonne											
Nasales		Fricatives					Occlusives				
n	m	s	z	v	f	d	b	t	p	g	k
26,4	32,8	35,2	41,4	41,8	50,0	52,2	58,2	62,4	64,7	65,2	68,6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Données : pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (haut) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (bas).

Tableau 5 : expérience d'auto-perception en parole modale (Malécot, 1955) ; effet de la consonne

Dans la deuxième étude, l'auteur documente davantage les paramètres de l'expérience, même s'il manque encore certaines données (Locke, 1972). Dans cette étude, l'auteur a inclus toutes les consonnes et semi-consonnes de l'anglais, quelle que soit leur forme orthographique, puis il a exclu quatre consonnes qui donnaient lieu à une ambiguïté de prononciation : /ŋ/, /ʒ/, /θ/, et /ð/. Il a donc étudié 20 consonnes et semi-consonnes (C) associées à la voyelle (V) /ʌ/ dans des structures #CV, formant 190 paires d'items. Même s'il ne précise pas de quelle manière il a construit les paires, le nombre fourni nous permet de supposer qu'il s'agissait d'oppositions systématiques et que chaque paire a été présentée une seule fois. La consigne de la tâche était de lire chaque paire d'items en parole chuchotée et d'indiquer l'item le plus difficile à dire. Il était expliqué que la difficulté se rapportait à l'effort musculaire ou à la tension dans les joues, les lèvres, la langue ou la gorge. L'auteur rapporte avoir collecté des données auprès de 55 participants qui étaient des étudiants en chimie ou en sciences du langage. Cependant, il précise que les 190 paires étudiées ont été divisées en cinq listes de 38 paires, tandis que les participants ont été répartis en cinq groupes de 11 individus, et que chacune de ces listes a été présentée seulement à un groupe. D'après ces informations, nous déduisons que 2.090 données ont été collectées. Les résultats de cette expérience, reproduits dans le Tableau 6, ne sont pas interprétés par l'auteur. De plus, nous constatons dans ce tableau que les pourcentages sont déséquilibrés.

Consonne																			
d	s	h	n	ʃ	t	p	l	m	f	j	r	b	k	g	v	z	w	ɟ	ʒ
45,5	51,0	54,0	54,5	56,5	59,5	60,0	60,0	61,0	61,5	65,5	71,5	75,0	76,0	76,0	77,5	79,5	88,0	91,0	91,0
1	2	3	4	5	6	7,5	7,5	9	10	11	12	13	14,5	14,5	16	17	18	19,5	19,5

Données : pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (haut) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (bas).

Tableau 6 : expérience d'auto-perception en parole chuchotée (Locke, 1972) ; effet de la consonne

Dans la troisième étude, les auteurs documentent aussi davantage les paramètres de l'expérience mais non les résultats (Parnell & Amerman, 1977). Les 16 consonnes (C) étudiées ont été associées à la voyelle (V) /ʌ/ dans des structures #CV puis placées dans une phrase porteuse après la voyelle /ə/ : il s'agissait donc de structures V-CV. Ces consonnes ont été transcrites à l'aide de symboles phonétiques afin de contrôler le nombre de graphèmes. Les 32 participants, des adultes âgés de 20 à 32 ans, ont donc d'abord bénéficié d'une session d'apprentissage et d'une session d'entraînement pour la lecture de ces symboles. Les auteurs rapportent avoir opposé systématiquement chaque item aux 15 autres, pour obtenir 120 paires. La tâche était réalisée par

chaque participant en parole vocale, en parole chuchotée et en parole subvocale, dans un ordre aléatoire. La consigne de la tâche était de lire chaque paire d'items et d'indiquer le plus difficile à dire. Il était de nouveau expliqué que cette difficulté se rapportait à l'effort musculaire ou à la tension dans les joues, les lèvres, la langue et la gorge. Les participants pouvaient effectuer des pauses au cours des passations, lorsqu'ils se sentaient fatigués. Les résultats de cette expérience sont reproduits dans le Tableau 7 pour la parole vocale modale, dans le Tableau 8 pour la parole chuchotée et dans le Tableau 9 pour la parole subvocale.

Consonne															
n	m	t	s	d	k	p	g	b	f	z	ʃ	v	θ	ð	ʒ
1	2,5	2,5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Données : rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile.

Tableau 7 : expérience d'auto-perception en parole modale (Parnell & Amerman, 1977) ; effet de la consonne

Consonne															
s	m	t	k	d	z	p	v	n	g	b	f	θ	ʃ	ð	ʒ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Données : rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile.

Tableau 8 : expérience d'auto-perception en parole chuchotée (Parnell & Amerman, 1977) ; effet de la consonne

Consonne															
n	m	t	p	s	d	k	b	g	z	v	f	θ	ð	ʃ	ʒ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Données : rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile.

Tableau 9 : expérience d'auto-perception en parole subvocale (Parnell & Amerman, 1977) ; effet de la consonne

Dans cette étude, une forte corrélation est observée entre ces trois types de parole. Cependant, ni le nombre, ni le pourcentage de fois où un item a été perçu comme le plus difficile à produire n'est spécifié. Les analyses incluent un facteur de poids pour chacun des paramètres articulatoires car ceux-ci ne sont pas distribués équitablement entre les consonnes étudiées. Les auteurs interprètent ces résultats comme suit : en ce qui concerne le voisement, ici ce sont les consonnes voisées qui sont perçues comme plus difficiles à produire que leurs correspondantes non voisées ; en ce qui concerne le mode articulatoire, ici ce sont les consonnes fricatives qui sont perçues comme plus difficiles à produire que les consonnes occlusives ; en ce qui concerne la nasalité, les consonnes orales sont toujours perçues comme plus difficiles à produire que les consonnes

nasales ; et en ce qui concerne le lieu articulatoire, les consonnes apico-post-alvéolaires et dorso-vélaires (postérieures) sont toujours perçues comme plus difficiles à produire que les consonnes bilabiales et labiodentales (antérieures), mais aussi apico-dentales, et celles-ci sont toujours perçues comme plus difficiles à produire que les consonnes apico-alvéolaires (médianes).

Ces trois études fournissent des données quantitatives correspondant à la perception interne de l'effort dans l'activité d'articulation de la parole, par des locuteurs. Par ailleurs, elles intègrent aussi, dans la consigne de la tâche, la perception de l'effort « dans la gorge » et, dans l'analyse des résultats, l'observation du voisement de la consonne. Elles semblent donc explorer aussi l'effort phonatoire dans la parole vocale ou l'effort de constriction glottique dans la parole chuchotée. Cela suggère qu'une étude d'auto-perception de l'effort phonatoire pourrait être réalisée avec cette méthode des comparaisons par paires.

3.3.2. Mesures physiques

L'évaluation physique de l'effort phonatoire est réalisée à l'aide d'instruments permettant des mesures quantitatives nombreuses et variées. Nous pouvons distinguer trois grands types de mesures : physiologiques, aérodynamiques et acoustiques. Les techniques de mesure peuvent être plus ou moins aisées à appliquer. De même, les résultats obtenus peuvent être plus ou moins aisés à analyser. D'ailleurs, nous avons l'impression que ces mesures sont parfois utilisées à mauvais escient. En effet, il est important d'opérer une distinction, d'une part, entre la phonation et la vocalisation ou l'articulation et, d'autre part, entre la vibration des plis vocaux et l'effort fourni dans le but de réaliser cette vibration. Nous présentons ici les diverses mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques réalisées dans la production de la parole.

3.3.2.1. Physiologiques

Les mesures physiologiques apparaissent logiquement comme les plus adaptées à l'étude de l'effort qu'il soit phonatoire ou articulatoire. Elles permettent notamment de quantifier l'activité musculaire ou le contact entre les articulateurs (plis vocaux, lèvres, etc.). Pourtant, ces mesures sont difficilement applicables à l'effort phonatoire car celui-ci met en jeu des structures situées à l'intérieur du larynx, donc peu accessibles. De ce fait, les mesures physiologiques de l'effort phonatoire sont le plus souvent invasives. Par ailleurs, le traitement et l'interprétation des données

obtenues grâce à ces mesures peuvent être délicats. Nous présentons brièvement les techniques de mesure de la pression mécanique de contact (MCP) affiliée à l'électropalatographie (EPG), d'électroglottographie (EGG) et d'électromyographie (EMG).

3.3.2.1.1. Activité musculaire

L'électromyographie (EMG) consiste à mesurer directement le signal électrique de l'activité musculaire avec des électrodes insérées dans les muscles. Cette technique est par essence invasive. Elle a pourtant été couramment utilisée pour l'étude de l'effort articulaire (Lubker & Parris, 1970). Pour l'étude de l'effort phonatoire, elle a aussi été utilisée, principalement dans des muscles laryngés accessibles par voie transcutanée, notamment les muscles crico-thyroïdiens (CT) en avant du larynx (Benguerel, Hirose, Sawashima, & Ushijima, 1978; Biezanski & Tluchomski, 1965; Hirose & Gay, 1972; Löfqvist et al., 1989). Cependant, elle peut être utilisée pour les muscles thyro-aryténoïdiens (TA), qui composent le corps des plis vocaux, par voie trans-cartilagineuse (Collier et al., 1979). L'amplitude du signal, en EMG, augmente avec la hauteur de la voix (Dejonckere, 1980). En plus de son aspect invasif, l'EMG présente des difficultés de réalisation, notamment en ce qui concerne le placement des électrodes (Kotby, 1975). Dans tous les cas, la réalisation de la mesure, le traitement des données et l'interprétation des résultats sont compliqués.

3.3.2.1.2. Contact des articulatoires

L'électroglottographie (EGG) consiste à mesurer la conductance électrique du larynx, entre les deux plis vocaux, avec des électrodes de surface situées au niveau des ailes du cartilage thyroïde. Cette technique n'est pas invasive. Cependant, elle est difficilement applicable chez des individus qui présentent un surpoids, par exemple, et dont le cartilage thyroïde n'est pas palpable sous la peau. De plus, elle n'est pas applicable lorsqu'il existe un défaut de contact des plis vocaux. En effet, le signal en EGG est corrélé au contact des plis vocaux (Childers, Smith, & Moore, 1984). Il permet, après avoir été traité informatiquement, de calculer le quotient de contact (CQ) des plis vocaux pendant la vibration, c'est-à-dire la durée relative de la phase fermée par rapport à la phase ouverte (Hong & Kim, 1997). Ce CQ augmente avec l'intensité de la voix (Huang et al., 1996; Mooshammer, 2010). Il est aussi plus élevé pour la voix pressée que pour la voix soufflée (Kankare et al., 2012). De manière générale, il est corrélé à la force de contact entre les plis vocaux, mesurée par la pression mécanique de contact (MCP), que nous présentons en détail dans le paragraphe

suivant (Verdolini, Chan, Titze, Hess, & Bierhals, 1998). L'EKG permet également de calculer, selon la pente de la courbe sur le signal obtenu, la vitesse d'écartement et de rapprochement des plis vocaux. Non seulement la réalisation de la mesure n'est pas toujours aisée mais, en plus, le traitement des données est compliqué (Herbst & Ternström, 2006).

La mesure de pression mécanique de contact (MCP) est réalisée avec un capteur dynamique de pression placé entre les deux plis vocaux par voie orale. Cette technique a d'abord été utilisée dans l'étude de l'effort articulaire, pour mesurer la force du contact entre les deux lèvres ou entre la langue et le palais (Hinton, 1996; Leeper, Jr & Noll, 1972; Lubker & Parris, 1970; Malécot, 1966a; Proffit et al., 1965). Dans ce dernier cas, elle nécessite l'insertion d'un capteur de pression à l'intérieur de la cavité orale et présente donc déjà un aspect invasif. Cette technique de mesure a ensuite été utilisée dans l'étude de l'effort phonatoire (Horáček, Laukkanen, Sidlof, Murphy, & Švec, 2009; Jiang & Titze, 1994; Verdolini et al., 1999). Cependant, elle est difficile à mettre en pratique, non seulement parce qu'elle est invasive, mais aussi parce qu'elle nécessite un placement très précis du capteur (Verdolini et al., 1999). La MCP entre les plis vocaux augmente notamment avec la hauteur de la voix (Yamana & Kitajima, 2000). Même pour l'étude de l'effort articulaire, au niveau des lèvres par exemple, la réalisation de cette mesure est délicate. Certaines études de l'effort articulaire sont réalisées en électropalatographie (EPG) et consistent plutôt à mesurer la forme ou la durée du contact entre les articulateurs (Liker & Gibbon, 2013; Liker et al., 2011).

3.3.2.2. Aérodynamiques

3.3.2.2.1. Résistance au flux d'air

Les mesures aérodynamiques sont très largement utilisées dans l'étude de l'effort phonatoire car elles permettent d'inférer la physiologie de la phonation. Elles concernent le débit du flux d'air trans-glottique (TGF) et la différence de pression d'air autour de la glotte (ΔGP). Ces deux paramètres présentent un lien direct entre eux et avec la constriction glottique (Finnegan et al., 2000). En effet, comme nous l'avons expliqué dans la physiologie de la phonation, la constriction glottique et l'expiration génèrent une pression sous-glottique (SGP) supérieure à la pression sus-glottique ou intra-orale (IOP). Selon la mécanique des fluides, le flux d'air s'écoule alors du niveau sous-glottique, où la pression la plus forte, vers le niveau sus-glottique, où la pression est la plus faible, avec un débit qui dépend de cet écart de pression. Puisque la ΔGP dépend de l'IOP, elle

varie donc aussi avec la constriction sus-glottique ou articuloire (Miller & Daniloff, 1993). Quant au TGF, il varie, non seulement avec la ΔGP qui le produit, mais aussi avec les strictions, glottique et sus-glottique, qui le restreignent (Ananthapadmanabha & Fant, 1982; Miller & Daniloff, 1993). En conséquence, ces deux paramètres aérodynamiques varient en fonction de la taille et de la forme du conduit vocal. Du fait du dimorphisme sexuel, le TGF est alors inférieur chez les femmes qui présentent un conduit vocal plus petit et plus étroit (Stathopoulos & Weismer, 1985b; J. V. Wilson & Leeper, Jr, 1992). A titre d'information, dans des conditions normales, la valeur moyenne de TGF, chez les femmes, pendant la production d'une voyelle isolée, correspond à 0,150 litres par seconde (L/s) (Terasawa, Hibi, & Hirano, 1987). Contrairement à l'usage, il apparaît donc nécessaire d'envisager ces deux mesures aérodynamiques simultanément. Une combinaison de ces deux mesures correspond à la résistance glottique (GR), qui est calculée en divisant la ΔGP par le TGF. Si la ΔGP reste constante mais que le TGF diminue ou si, au contraire, la ΔGP augmente mais que le TGF reste constant, la GR augmente traduisant une augmentation de la constriction glottique, c'est-à-dire de la compression des plis vocaux sous l'action des muscles laryngés intrinsèques. Les relations entre ces paramètres étaient représentées sur la Figure 14, page 36. Dans des conditions normales, la valeur moyenne estimée de GR, chez les femmes, correspond environ à 40 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) (Leeper, Jr & Graves, 1984). Nous pouvons donc en déduire que la valeur moyenne de ΔGP , chez les femmes, correspond à 6hPa. La GR, en combinant les deux mesures aérodynamiques de débit et de pression d'air, permet d'évaluer l'effort phonatoire.

Le débit du flux d'air trans-glottique (TGF) est un paramètre qui correspond au volume d'air traversant la glotte pendant une unité de temps. Il est exprimé en litres (L), ou en centimètres cube, par seconde (s). Sa mesure peut être réalisée à l'aide de différents instruments mais, le plus souvent, les expérimentateurs et les cliniciens utilisent un pneumotachographe, selon une technique simple et non invasive (Miller & Daniloff, 1993; Schutte, 1992). Le flux d'air est capté dans un masque, appliqué sur la bouche et le nez, ou uniquement sur la bouche en obstruant le nez. Une valeur de TGF moyenne est communément obtenue pendant la production d'une voyelle isolée. Cependant, la production d'un phonème isolé diffère de la parole car elle exclut la coarticulation et modifie les durées (Miller & Daniloff, 1993). D'ailleurs, le TGF est inférieur pendant la production des voyelles dans la parole que pendant la production des voyelles isolées (Yiu, Yuen, Whitehill, & Winkworth, 2004). Cette technique entraîne donc une surestimation des données (Schutte, 1992).

Les expérimentateurs utilisent le plus souvent la voyelle orale ouverte /a/ car elle implique une résistance articulaire (AR) très faible et entraîne donc peu de diminution du TGF (Beckett & Hallett, 1971; Bickley & Stevens, 1986; Isshiki, 1965; Iwata, von Leden, & Williams, 1972). Cette mesure est couramment réalisée et analysée seule, ce qui donne lieu à des erreurs d'interprétation. En effet, dans la pratique clinique, le TGF est souvent utilisé comme un indice de la fermeture glottique. Notamment, chez les patients dysphoniques, les cliniciens considèrent qu'un TGF élevé traduit un défaut d'accolement des plis vocaux pendant la vibration dû, par exemple, à une paralysie laryngée ou à des lésions muqueuses de taille imposante (Dejonckere, Greindl, & Sneepe, 1985; Kelman, Gordon, Simpson, & Morton, 1975). Or, le TGF peut augmenter avec la différence de pression entre les niveaux sous-glottique et sus-glottique (ΔGP), en l'absence de difficultés de constriction, lorsqu'un individu produit un effort expiratoire important. À l'inverse, les cliniciens considèrent qu'un TGF bas traduit un excès de compression des plis vocaux, comme dans le cas de la dysphonie spasmodique (Gillespie, Gartner-Schmidt, Rubinstein, & Verdolini Abbott, 2013; Gordon, Morton, & Simpson, 1978). Or, là encore, le TGF peut diminuer avec la ΔGP , sans excès de constriction, lorsque l'individu réduit son effort expiratoire. Afin d'évaluer l'effort phonatoire, il est nécessaire de confronter la valeur du TGF à la valeur du ΔGP mesurée de façon simultanée.

La différence de pression autour de la glotte (ΔGP) nécessite deux mesures : la pression sous-glottique (SGP) et la pression sus-glottique, aussi appelée intra-orale (IOP). Elle est exprimée en hectopascals (hPa) ou en centimètres d'eau. Lors de la production d'une voyelle orale ouverte /a/, puisque la résistance articulaire (AR) est très faible, la valeur de l'IOP est proche de la valeur de la pression atmosphérique. Dans ce cas, nous considérons que l'IOP est négligeable et que la SGP est égale à la ΔGP . Il existe, en plus de la technique de mesure directe, plusieurs techniques d'estimation de la SGP (Schutte, 1992). Les expérimentateurs n'utilisent que rarement la mesure directe de la SGP et, à notre connaissance, les cliniciens ne l'utilisent jamais, car celle-ci est invasive. En effet, elle nécessite l'introduction d'un capteur de pression, par un cathéter, en dessous du plan glottique, à travers une paroi cartilagineuse, c'est-à-dire entre les cartilages thyroïde et cricoïde ou entre deux anneaux trachéaux. La mesure est réalisée à l'aide d'un transducteur de pression. Cette technique présente l'avantage de permettre une mesure du ΔGP simultanée à la mesure du débit du flux d'air trans-glottique (TGF), donc de permettre le calcul de la résistance glottique (GR) réelle. Parmi les techniques d'estimation de la SGP, nous en comptons deux pouvant être réalisées simultanément à la mesure du TGF. La première consiste à mesurer la

circonférence thoracique pour en déduire le volume pulmonaire puis inférer la SGP (Kunze, 1964). La seconde consiste à mesurer la pression d'air intra-œsophagienne, grâce à un ballon avalé par le sujet, pour inférer la SGP (Kunze, 1964; H. J. Rubin, LeCover, & Vennard, 1967; van den Berg, 1956). En raison de leur complexité, de leur imprécision et de leur inadéquation, nous n'utilisons plus aucune de ces deux techniques d'estimation. A ce jour, c'est une troisième technique d'estimation de la SGP qui fait l'unanimité, bien que son procédé nous paraisse discutable.

La technique courante d'estimation de la pression sous-glottique (SGP) passe par la mesure de la pression sus-glottique ou intraorale (IOP). Elle nécessite l'introduction d'une sonde, plutôt rigide, par la commissure des lèvres puis entre les arcades dentaires, jusqu'au milieu du palais, de façon perpendiculaire au flux d'air. Ce dispositif limite les mouvements articulatoires, notamment l'ouverture mandibulaire et l'élévation linguale. Cette technique repose sur l'idée que l'IOP égale la SGP pendant la production d'une consonne orale occlusive bilabiale non voisée /p/. Elle requiert une fermeture parfaite de la cavité orale, c'est-à-dire une occlusion labiale et une occlusion nasale complètes. Or, l'occlusion nasale n'est pas totale pendant la production de la consonne /p/ (Gauster, Yunusova, & Zajac, 2010). Il paraît donc nécessaire d'obstruer le nez. L'occlusion labiale, elle, varie avec la force articulatoire. D'ailleurs, une occlusion mécanique est parfois utilisée (Chapin, Hoffman, Rieves, & Jiang, 2011). Nous émettons plusieurs réserves vis-à-vis de l'égalisation entre la SGP et l'IOP. D'abord, cette technique a été développée en anglais, langue dans laquelle les consonnes occlusives non voisées, comme la consonne /p/, sont aspirées. Pour ces consonnes aspirées, le geste glottique d'ouverture-fermeture est à son amplitude maximale (Dixit, 1989). Nous pouvons donc considérer alors que la résistance glottique (GR) est quasiment nulle et que les valeurs d'IOP et de SGP sont presque égales (Hertegård, Gauffin, & Lindestad, 1995; Netsell, 1969; Shipp, 1973). Au contraire, en français, la consonne /p/ n'est pas aspirée (Fougeron & Smith, 1993). Le geste glottique d'ouverture-fermeture est donc moins ample qu'en anglais et la GR pourrait alors engendrer une différence significative entre la SGP et l'IOP. En outre, nous ne connaissons rien de l'impact de l'effort phonatoire sur l'amplitude du geste glottique pendant la production des consonnes non voisées : l'augmentation de l'effort phonatoire, pourrait limiter cette amplitude. D'ailleurs, une étude récente a mis en évidence des écarts importants entre les mesures simultanées de la SGP réelle et de l'IOP, entraînant des sous-estimations ou des surestimations de la SGP avec cette technique, chez les patients dysphoniques, mais aussi chez les sujets sains (Plant

et al., 2004). Nous jugeons donc cette technique d'estimation de la SGP peu fiable, notamment en français et dans l'étude de l'effort phonatoire.

La technique d'estimation de la pression sous-glottique (SGP) a initialement été développée pour le calcul de la résistance glottique (GR) (Rothenberg, 1982; Smitheran & Hixon, 1981). Il s'agit d'interpoler la valeur de pression sus-glottique ou intraorale (IOP), mesurée pendant la production de la consonne (C), avec le débit du flux d'air trans-glottique (TGF), mesuré pendant la production de la voyelle (V), lors de la production d'un train de syllabes simples directes CV. Les deux paramètres aérodynamiques utilisés pour calculer la GR ne sont alors pas mesurés de manière simultanée. De plus, nous estimons que ni la mesure de l'IOP, ni la mesure du TGF, n'est fiable pour le calcul de la GR. En ce qui concerne le TGF, la présence de la sonde intra-buccale limite l'ouverture mandibulaire pendant la production de la voyelle /a/ censée être ouverte, voire incite les expérimentateurs à utiliser la voyelle orale fermée /i/ (Finnegan, Luschei, Barkmeier, & Hoffman, 1996; Grillo et al., 2009, 2010; Leeper, Jr & Graves, 1984; Zajac, 1998). La constriction sus-glottique ainsi formée pendant la production de la voyelle risque de créer une résistance articulaire (AR) positive et d'entraîner alors une augmentation de l'IOP, donc une diminution de la différence de pression autour de la glotte (ΔGP) et du TGF. Enfin, comme nous l'avons expliqué dans le paragraphe précédent, l'égalité entre la SGP et l'IOP pendant la production de la consonne /p/ peut être mise en doute. D'ailleurs, cette technique a été adaptée d'une technique développée, en premier lieu, pour l'étude de l'articulation et non de la phonation : elle visait à déterminer la constance de la SGP chez des patients dysarthriques, plutôt que sa grandeur (Netsell & Hixon, 1978). Même si la GR nous paraît être un bon indice de l'effort phonatoire, les mesures permettant son calcul, lorsqu'elles ne sont pas invasives, ne semblent pas fiables.

Sur le même principe de calcul que la résistance glottique (GR), nous pourrions calculer la résistance articulaire (AR). En effet, pendant la production de n'importe quel phonème, le débit des flux d'air, nasal et oral, correspond au débit du flux d'air trans-articulaire (TAF) et peut être assez aisément mesuré. Par ailleurs, la différence de pression autour du point d'articulation (ΔAP), c'est-à-dire la différence entre la pression intraorale (IOP) et la pression extraorale qui correspond à la pression atmosphérique, peut aussi être assez aisément mesurée avec une sonde placée dans la cavité orale, du moins pour les phonèmes oraux antérieurs, pour lesquels il n'y a pas d'occlusion

complète du conduit. L'AR nous paraît pouvoir être un bon indice de l'effort articulatoire et les mesures permettant son calcul sont peu invasives, assez aisées et plutôt fiables.

3.3.2.2.2. Seuil de pression phonatoire

Une dernière mesure aérodynamique est décrite comme un indice de l'effort phonatoire : le seuil de pression phonatoire, ou *phonation threshold pressure* (PTP) en anglais. Il s'agit d'une mesure de la pression sous-glottique (SGP) minimale requise pour initier la vibration périodique des plis vocaux (Titze, 1988). La technique d'estimation de la SGP est encore moins fiable dans le cas du PTP, car il est demandé au locuteur de réduire son intensité vocale pour produire une voix la plus faible possible, juste au-dessus du chuchotement, ce qui entraîne une diminution de la force articulatoire donc de l'occlusion des lèvres pendant la production de la consonne /p/. Le PTP dépend de quatre paramètres : la viscosité des plis vocaux et la rigidité des plis vocaux, la vitesse de l'onde muqueuse et la largeur de la glotte pré-phonatoire (Titze, 1988). Il représente donc un indice du fonctionnement mais aussi de l'état des plis vocaux (Plexico, Sandage, & Faver, 2011). En effet, le PTP varie notamment avec la hauteur vocale (Plant et al., 2004; Solomon et al., 2007). Il est donc souvent considéré comme un indice de l'effort phonatoire. Cependant, il varie aussi avec les qualités vibratoires intrinsèques des plis vocaux, qui se dégradent avec l'inflammation ou l'apparition de lésions. Le PTP confond l'évaluation des qualités vibratoires intrinsèques des plis vocaux et l'évaluation de l'effort phonatoire. En outre, il s'agit de nouveau d'une mesure aérodynamique de pression, non associée à la mesure aérodynamique du débit, donc incomplète.

3.3.2.2.3. Pic de débit du flux d'air

Par ailleurs, nous notons qu'une autre mesure aérodynamique a souvent été utilisée comme un indice de l'effort articulatoire : le pic de débit du flux d'air trans-articulatoire (TAF) au moment du relâchement des consonnes (Gilbert, 1973; Stathopoulos & Weismer, 1985a). Parfois le pic de TAF pré-consonantique est lui aussi pris en compte. En effet, les consonnes, du moins les fricatives, comportent deux pics de TAF correspondant à l'accélération du flux d'air pendant les transitions de fermeture et d'ouverture sus-glottiques, ainsi qu'un minimum de TAF, situé entre ces deux pics, correspondant à la constriction sus-glottique maximale (Shadle & Scully, 1995). Il est possible de supposer que le TAF se comporte de la même façon pour les consonnes occlusives. L'amplitude de ce pic de TAF, notamment post-consonantique, semble aussi lié à la constriction glottique : elle

est à son niveau le plus haut pour les consonnes aspirées non voisées, qui présentent la plus grande ouverture des plis vocaux, et à son niveau le plus bas pour les consonnes non aspirées voisées, qui présentent la plus petite ouverture des plis vocaux (Dixit & Brown, Jr, 1985; Nihalani, 1975). Cette mesure semble confondre la vitesse d'articulation sus-glottique et le degré de constriction glottique.

3.3.2.3. Acoustiques

Certaines mesures acoustiques permettent d'évaluer le mode de vibration des plis vocaux et donc leurs qualités intrinsèques, mais aussi l'effort phonatoire. En effet, d'une part, la compression des plis vocaux, voire leur élongation, leur tension et leur rigidification, sous l'action des muscles laryngés intrinsèques, entraîne une augmentation de l'amplitude et de la fréquence de vibration ainsi qu'une augmentation du contact pendant cette vibration. D'autre part, l'effort phonatoire peut être élicité par la production d'une voix plus forte, plus aigüe et plus pressée. Il nous semble donc que les mesures acoustiques du niveau de pression sonore (SPL), de la fréquence fondamentale (F0) et de l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) sont intéressantes. Ces mesures sont communément réalisées au milieu des voyelles, ou encore sur leur partie stable. Une autre mesure acoustique réalisée au niveau des frontières vocaliques, dans les transitions avec les consonnes, a été récemment développée : la fréquence fondamentale relative (RFF). Cette mesure est basée sur les variations de F0 engendrées par le geste glottique d'ouverture-fermeture pendant la production des consonnes non voisées. Enfin, la mesure du taux de voisement (V%) d'une consonne peut donner un indice de l'effort phonatoire. Nous présentons en détail ces mesures acoustiques : SPL, F0, H1-H2, RFF et V% ainsi que leurs liens avec les qualités des plis vocaux et l'effort phonatoire.

3.3.2.3.1. Voyelles

Le niveau de pression sonore (SPL) correspond, sur le versant production, à l'amplitude de vibration des plis vocaux et, sur le versant perception, à l'intensité vocale. Il s'agit d'une puissance proportionnelle au carré de la pression acoustique exercée par l'onde sonore sur une surface. En effet, l'onde sonore se transmet par une pression entre les molécules d'air, de proche en proche. Cette puissance diminue donc proportionnellement au carré de la distance par rapport à la source, c'est pourquoi elle doit être mesurée à l'aide d'un microphone fixe dont la distance par rapport aux locuteurs est calibrée. Dans les expérimentations en linguistique, le SPL est habituellement

mesuré en décibels (dB). Cette unité de grandeur sans dimension correspond au logarithme de base 10 du rapport entre deux puissances (P_0 et P_1), multiplié par 10 ($10 \cdot \log_{10}[P_1/P_0]$). Doubler la puissance entraîne donc une augmentation du SPL de 3dB. L'augmentation du SPL correspond à une augmentation de l'amplitude de vibration des plis vocaux afin de produire une voix forte. Nous rappelons que cette amplitude de vibration augmente avec la compression des plis vocaux, donc avec l'effort phonatoire. Cependant, elle dépend aussi des qualités intrinsèques des plis vocaux et, notamment, de leur élasticité. Par ailleurs, elle augmente conjointement avec le débit du flux d'air trans-glottique (TGF) et la différence de pression autour de la glotte (ΔGP), c'est-à-dire avec l'effort expiratoire (Finnegan et al., 2000). En effet, si la constriction glottique augmente mais que la force expiratoire n'augmente pas suffisamment pour compenser la résistance glottique (GR) ainsi créée, alors l'amplitude de vibration des plis vocaux diminue. Au total, la mesure du SPL est assez délicate et ne traduit pas seulement l'effort de constriction glottique, mais aussi, entre autres, l'effort d'expiration sous-glottique.

La fréquence fondamentale (F_0) correspond, sur le versant de la production, à la vitesse de vibration des plis vocaux et, sur le versant de la perception, à la hauteur vocale. Elle est mesurée en Hertz (Hz), c'est-à-dire en nombre de cycles par secondes. Cependant, comme nous l'avons décrit plus haut, cette unité est également relative. Nous transformons donc la valeur de F_0 en demi-tons (dT), c'est-à-dire en notes. Pour repère, une F_0 de 110 Hz correspond au 45^e demi-ton, c'est-à-dire à la note La1, une F_0 de 220Hz correspond au 57^e demi-ton, c'est-à-dire à la note La2, et une F_0 de 440 Hz correspond au 69^e demi-ton, c'est-à-dire à la note La3. La F_0 dépend, entre autres, de la longueur et de la masse des plis vocaux. Elle peut donc varier entre deux individus et notamment en fonction de leur sexe. L'augmentation de la F_0 correspond à une augmentation de la vitesse de vibration des plis vocaux afin de produire une voix aigüe. Nous rappelons que cette vitesse de vibration augmente avec la compression des plis vocaux, principalement sous l'action des muscles thyro-aryténoïdiens (TA) qui composent leur corps, mais qu'elle augmente aussi avec l'élongation, la tension et la rigidification des plis vocaux, sous l'action des muscles crico-thyroïdiens (CT). Dans le mécanisme 1 de phonation, la F_0 augmente avec l'activité conjointe des TA et des CT puis, à partir d'un certain point, dans le mécanisme 2 de phonation, avec l'activité disjointe de ces muscles : les TA ne sont presque pas activés alors que les CT sont extrêmement activés. Pour une vibration périodique des plis vocaux, dans la parole vocale, si l'augmentation de

la F0 correspond à une augmentation de l'effort phonatoire dans le mécanisme 1 de phonation, cela n'est pas aussi évident dans le mécanisme 2.

L'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) correspond, sur le versant de la production, à la durée de contact des plis vocaux pendant le cycle vibratoire et, sur le versant de la perception, à la qualité vocale. Elle est mesurée en décibels (dB), comme le niveau de pression sonore (SPL). Cependant, comme il s'agit d'une mesure relative entre deux harmoniques produits par un même locuteur et enregistrées simultanément, les problèmes relatifs à la distance du microphone ne se posent pas. L'augmentation de l'amplitude du deuxième harmonique (H2) par rapport au premier (H1) correspond à l'augmentation du contact des plis vocaux afin de produire une voix pressée. Nous rappelons que ce contact augmente avec la compression des plis vocaux, notamment sous l'action des muscles thyro-aryténoïdiens (TA). A noter que, quand le contact des plis vocaux est très faible, la fuite d'air glottique augmente le bruit de friction et diminue donc la qualité de la voix mesurée par le rapport entre signal et bruit ou *harmonic-to-noise ratio* (HNR) en anglais alors que, quand le contact des plis vocaux est très fort, des perturbations de la vibration peuvent apparaître et diminuer aussi la qualité mesurée par le *jitter*. De même que pour le SPL ou la fréquence fondamentale (F0), et comme nous l'avons expliqué plus haut, la valeur de H1-H2 dépend des qualités vibratoires des plis vocaux. Elle peut donc varier entre deux individus pour un même niveau d'effort phonatoire et, chez un même individu, entre deux niveaux d'effort.

3.3.2.3.2. Transitions voyelle-consonne ou consonne-voyelle

Certaines mesures acoustiques peuvent être réalisées aux frontières des voyelles, dans leurs transitions avec les consonnes. La fréquence fondamentale relative (RFF), notamment, correspond à la variation de fréquence instantanée (F_i) mesurée sur 10 cycles vibratoires à la terminaison d'une voyelle pré-consonantique ou à l'initiation d'une voyelle post-consonantique (Stepp et al., 2012). Les dix F_i sont mesurées en Hertz (Hz), c'est-à-dire en cycles par secondes, puis transformée en demi-tons (dT), c'est-à-dire en notes. Chacune d'elles est ensuite comparée à celle qui est la plus éloignée de la consonne. Le développement de la RFF repose l'observation des variations de fréquence fondamentale (F0) lors des transitions entre voyelles et consonnes, selon le voisement de ces dernières. Comme nous l'avons décrit, le geste glottique d'ouverture-fermeture réalisé pendant la production des consonnes non voisées est accompagné d'une augmentation de la tension des plis vocaux et entraîne une augmentation de la F0. A l'inverse, le geste sus-glottique de

fermeture-ouverture réalisé pendant la production des consonnes voisées, entraîne une diminution de la F0. Cette mesure est à ce jour appliquée uniquement aux consonnes non voisées et son auteur estime que, lorsque la RFF diminue, l'effort phonatoire augmente. Il nous semble que cet effet serait inversé si la mesure était appliquée aux consonnes voisées. L'effet de la consonne sur la F0 est censée être effective pendant une dizaine de millisecondes (ms) (Hanson, 2009). Or, un cycle dure en moyenne 10ms pour une F0 égale à 100Hz, chez des hommes par exemple, et 5ms pour une F0 égale à 200Hz, chez les femmes. Selon la variation de la F_i au niveau des transitions entre voyelles et consonnes, l'effet est donc observable sur un nombre de cycles différent. De plus, la F_i pendant les transitions dépend de la F0 pendant les voyelles. Cette mesure nous semble donc peu contrôlable. En revanche, sur le même principe, une mesure pourrait être réalisée entre le cycle, ou la moyenne de quelques cycles, de transition et le centre de gravité de la voyelle, c'est-à-dire sa partie la plus stable. Une mesure adaptée (RFF_a) pourrait peut-être permettre d'effectuer des comparaisons intra-individuelles entre deux niveaux d'effort phonatoire, quelle que soit la F0, mais aussi des comparaisons interindividuelles.

3.3.2.3.3. Consonnes

Les consonnes voisées ne sont pas forcément produites avec une vibration continue des plis vocaux (Parker, 1974). Le taux de voisement (V%) correspond au rapport entre la durée de la vibration glottique et la durée de la consonne, toutes deux mesurées en secondes. Comme pour les mesures réalisées sur les voyelles, le V% permet surtout des comparaisons intra-individuelles. En effet, il dépend de l'effort phonatoire mais aussi des qualités vibratoires intrinsèques des plis vocaux. L'augmentation du V%, dans les consonnes voisées comme dans les consonnes non voisées, traduit une augmentation de l'effort phonatoire. Au contraire, le V% diminue lorsque les difficultés de mise en vibration des plis vocaux augmentent. Cependant, la vibration des plis vocaux peut tout simplement s'arrêter avant la fin d'une consonne voisée, quand la différence de pression d'air autour de la glotte (ΔGP) n'est plus supérieure au seuil de pression phonatoire (PTP), notamment pour les consonnes occlusives ou postérieures. Certains chercheurs considèrent que le voisement est plus difficile à maintenir dans les consonnes fricatives que dans les consonnes occlusives car la production des consonnes fricatives voisées nécessite le contrôle de deux constriction, donc de deux flux d'air, glottique et sus-glottique (Haggard, 1978).

Nous rappelons que les consonnes voisées sont usuellement plus courtes que les consonnes non voisées. Cette différence de durée a longtemps été considérée comme une différence de force articulatoire, traduisant plus d'effort pendant la production des consonnes non voisées (Malécot, 1969; Slis, 1971). Il est intéressant de noter que les consonnes fricatives sont généralement plus longues que les consonnes occlusives (Bartkova & Sorin, 1987). Par ailleurs, les voyelles sont plus longues lorsqu'elles précèdent des consonnes voisées que lorsqu'elles précèdent des consonnes non voisées (Slis, 1970). Dans le cas des consonnes voisées, l'allongement de la durée des voyelles pré-consonantiques correspondrait au maintien de l'activité des muscles laryngés intrinsèques (Raphael, 1975).

4. Propositions

La phonation correspond à la vibration des plis vocaux en adduction, à l'intérieur du larynx, lors de l'écoulement du flux d'air expiratoire. Elle dépend des qualités vibratoires intrinsèques de ces plis vocaux, qui varient d'un individu à l'autre, notamment en fonction de la santé vocale, et elle dépend de la contraction des muscles laryngés intrinsèques, notamment des muscles thyroaryténoïdiens (TA), situé à l'intérieur des plis vocaux, qui varie en fonction de l'effort phonatoire. Pour étudier l'effort phonatoire, il apparaît donc nécessaire de différencier la vibration effective des plis vocaux et l'effort fourni pour réaliser cette vibration. La vibration d'air et le flux d'air se déplacent ensuite, à des vitesses différentes, à travers le conduit vocal, vers l'extérieur. Ils sont alors obligatoirement modifiés par l'articulation des phonèmes de la parole, sous l'action des muscles articulateurs sus-glottiques, dont la contraction varie en fonction de l'effort articulaire. Pour étudier l'effort phonatoire, il apparaît donc également nécessaire de le dissocier de l'effort articulaire. Dans les expériences menées jusqu'à présent, nous identifions plusieurs problèmes liés au choix des participants ou du matériel phonétique, ainsi qu'aux méthodes d'élicitation ou d'évaluation de l'effort. Nous présentons ces différents problèmes, ainsi que les dispositions que nous avons prises dans cette étude pour les pallier, puis nos hypothèses de travail.

4.1. Problèmes identifiés

Comme nous l'avons vu, les deux écueils majeurs dans l'étude de l'effort phonatoire sont les confusions possibles, d'une part, avec l'étude des qualités vibratoires des plis vocaux et, d'autre part, avec l'étude de l'effort articulatoire. Le premier tient notamment au choix des participants dans les expériences. En effet, à titre d'exemple, les expérimentateurs comparent encore trop souvent des niveaux d'effort entre des locuteurs dont la santé vocale diffère grandement. Le second tient notamment au choix du matériel linguistique dans les expériences. Les expérimentateurs utilisent souvent des voyelles isolées ou des textes longs, avec une production de voix usuelle, ils ne ciblent donc pas un effort phonatoire particulier. Un autre problème récurrent dans l'étude de l'effort phonatoire réside dans le choix des mesures physiques réalisées. La plupart des mesures portent en vérité sur la voix, qui est le résultat combiné, non seulement des ajustements glottiques, mais aussi des qualités vibratoires des plis vocaux et des ajustements articulatoires sus-glottiques, pour la vocalisation. Par ailleurs, l'absence de mesure perceptive de l'effort phonatoire rend l'appréciation de ces mesures physiques impossible. Nous listons ici tous les paramètres que nous estimons problématiques dans les diverses expériences menées pour l'étude de l'effort phonatoire.

4.1.1. Effort phonatoire et qualités vibratoires

4.1.1.1. Phonation anormale

En ce qui concerne la distinction avec les qualités vibratoires des plis vocaux, le but ultime est de différencier l'effort phonatoire de la dysphonie. La dysphonie correspond à un trouble de la phonation, c'est-à-dire de la vibration des plis vocaux. Elle est souvent la conséquence d'une pathologie laryngée et la cause d'un trouble de la voix. Cependant, un patient dysphonique peut produire plus ou moins d'effort dans l'activité de phonation pour compenser son trouble. L'effort phonatoire qui consiste à augmenter la compression des plis vocaux, voire leur élongation, leur tension et leur rigidité, permet effectivement d'augmenter leur contact et donc leur synchronisation pendant la vibration. Les mesures physiques réalisées chez ces patients dysphoniques, notamment acoustiques et aérodynamiques, confondent l'état de la glotte, qui peut présenter une fuite ou une asymétrie, et le comportement glottique compensatoire. En d'autres termes, un patient peut souffrir

d'une légère fuite glottique mais ne pas produire d'effort de compensation particulier, tandis qu'un autre peut souffrir d'une importante fuite glottique et produire un grand effort de compensation, non suffisant, et ces deux patients peuvent présenter alors la même résistance glottique (GR) ou la même amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), par exemple, alors que l'effort phonatoire qu'ils réalisent est différent. Ceci peut également concerner un même patient avant ou après thérapie, qu'elle soit chirurgicale ou comportementale. Le principal problème dans l'étude de l'effort phonatoire chez les patients dysphoniques est donc l'absence de point de comparaison intra-individuel.

Une solution récemment envisagée repose sur une mesure relative entre différents cycles vibratoires lors d'une occurrence précise d'effort phonatoire : la fréquence fondamentale relative (RFF) au moment des transitions entre consonnes non voisées et voyelles. Cependant, à notre sens, cette mesure présente plusieurs limitations. D'abord, elle nécessite une fréquence de vibration périodique, car elle repose sur une évaluation cycle par cycle. Elle est donc difficilement applicable chez des locuteurs qui présentent une irrégularité de vibration des plis vocaux. Ensuite, elle prend en compte seulement 10 cycles et dépend donc de la fréquence fondamentale (F0), c'est-à-dire de la hauteur de la voix. De ce fait, elle ne permet pas les comparaisons interindividuelles, ni même les comparaisons intra-individuelles. En effet, l'effort phonatoire nous semble en lien avec la vitesse de vibration des plis vocaux, donc avec la F0. Pourtant, dans ses études, l'auteur de cette mesure compare des sujets sains et des patients dysphoniques et, chez les premiers, différents niveaux d'effort phonatoire élicités ou, chez les seconds, les états avant et après traitement (Stepp, Hillman, & Heaton, 2010; Stepp et al., 2012; Stepp, Merchant, Heaton, & Hillman, 2011). De plus, cette mesure n'a pas été validée par corrélation avec une mesure perceptive, malgré les tentatives de l'auteur (Lien, Michener, Eadie, & Stepp, 2015; Stepp & Eadie, 2011). Il nous semble que la bonne pratique consiste à tester des mesures de l'effort phonatoire, puis d'établir des normes, chez les sujets sains, avant de s'intéresser aux patients dysphoniques.

4.1.1.2. Phonation normale

Etablir une distinction entre l'effort phonatoire et les qualités vibratoires des plis vocaux nous paraît plus aisé chez sujets sains. En effet, en l'absence de pathologie laryngée, nous pouvons supposer un accollement et une symétrie des plis vocaux normaux, donc une vibration périodique.

Cependant, il existe tout de même des variations entre les individus, notamment en fonction de leur sexe, mais aussi de leur âge ou de leurs habitudes. Par ailleurs, chez les sujets sains, il apparaît nécessaire d'éliciter un effort phonatoire pour tester les mesures. Le choix des mesures physiques adaptées à l'étude de l'effort phonatoire nous semble être un problème théorique. En revanche, la validation de ces mesures nécessite le développement d'une mesure perceptive.

4.1.1.2.1. Types de participants

Chez les sujets sains, il existe tout d'abord un dimorphisme sexuel responsable de variations quantitatives dans les phénomènes physiques liés à la phonation. La taille des organes de la parole, notamment du larynx, qui est un organe sexuel secondaire, est plus importante chez les hommes que chez les femmes. Au niveau acoustique, la vibration des plis vocaux est donc environ deux fois plus lente chez les hommes. De même, chez les individus jeunes, en particulier masculins, elle est plus lente après la puberté. Le dimorphisme sexuel existe aussi au niveau sous-glottique, avec une capacité pulmonaire plus grande chez les hommes, et au niveau sus-glottique, avec des cavités de résonance plus large chez les hommes, ce qui engendre des différences au niveau aérodynamique (Vorperian et al., 2011). Cependant, comme les femmes sont majoritaires parmi les patients qui consultent pour des troubles de la voix, dans l'étude de l'effort phonatoire, beaucoup d'expériences ne sont réalisées que sur celles-ci (Grillo et al., 2009; Kostyk & Putnam Rochet, 1998; Laukkanen et al., 2004; Laukkanen, Titze, Hoffman, & Finnegan, 2008; Lauri et al., 1997; Södersten, Hertegård, & Hammarberg, 1995; Stepp et al., 2012). Par ailleurs, la plupart des expériences portent sur des individus jeunes. Pourtant, les qualités vibratoires des plis vocaux changent avec le vieillissement : il s'agit de la presbyphonie. Il existe, par exemple, en ce qui concerne l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), donc le contact des plis vocaux pendant la vibration, une baisse avec l'âge (Decoster & Debruyne, 1997). En ce qui concerne la fréquence fondamentale (F0), donc la vitesse de vibration des plis vocaux, il existe une baisse chez les femmes et une élévation chez les hommes (Awan, 2006; Stathopoulos, Huber, & Sussman, 2011). Enfin, en ce qui concerne la résistance glottique (GR), il existe une élévation chez les femmes et une baisse chez les hommes (Holmes, Leeper, Jr, & Nicholson, 1994; Melcon, Hoit, & Hixon, 1989). Ces observations, du moins chez les hommes, suggèrent une détérioration de la muqueuse des plis vocaux, donnant une forme ovale à la glotte. Ce vieillissement des tissus réduit le contact des plis vocaux pendant la vibration, et s'accompagne souvent d'un effort

phonatoire en compensation, avec une élongation, une tension et une rigidification des plis vocaux. Cependant, chez les femmes, il existe aussi des changements hormonaux au moment de la ménopause, dont les effets sont contraires (D'haeseler, Depypere, & van Lierde, 2013). A noter que, chez les femmes, l'usage d'hormones contraceptives a également un effet sur les qualités vibratoires des plis vocaux (Gorham-Rowan & Fowler, 2008). Dans tous les cas, la restriction de la population étudiée aux femmes jeunes limite la généralisation des résultats. Nous rappelons d'ailleurs que les troubles de la voix d'origine fonctionnelle sont le plus couramment observés chez les femmes d'âge moyen 50 ans.

Chez ces sujets désignés comme sains parce qu'ils ne présentent pas de pathologie laryngée, la santé vocale peut cependant être discutée. En effet, certaines substances irritent les plis vocaux. Parmi elles, nous comptons notamment la fumée du tabac, qui provoque de l'œdème au niveau de l'espace de Reinke et entraîne donc, non seulement une diminution de la vitesse de vibration des plis vocaux, mais aussi une irrégularité (Awan & Alphonso, 2007; Guimarães & Abberton, 2005; Vincent & Gilbert, 2012). Le reflux gastro-œsophagien (RGO), acide, peut également irriter la muqueuse des plis vocaux et causer une dégradation des capacités phonatoires (Messalam, Malki, Farahat, Bukhari, & Alharethy, 2014). A noter que le RGO peut être indolore, ce qui ne motive pas la prise d'un traitement médicamenteux chez les locuteurs (Lowden, McGlashan, Steel, Strugala, & Dettmar, 2009). Enfin, chez les individus souffrant d'asthme, les traitements au long cours, par stéroïdes ou corticoïdes, peuvent aussi irriter la muqueuse des plis vocaux et altérer la phonation (Bhalla, Watson, Taylor, Jones, & Roland, 2009; Lavy, Wood, Rubin, & Harries, 2000).

Nous avons vu que beaucoup d'expériences incluent des populations à risque, en particulier des femmes, mais aussi des enseignants ou autres professionnels de la voix, comme des chanteurs. L'inclusion de ces professionnels pose un autre problème dans l'étude de l'effort phonatoire : celui de l'entraînement. Certaines expériences incluent même uniquement des locuteurs experts, c'est-à-dire des cliniciens, par exemple. D'autres ne portent que sur l'auteur lui-même. Il nous semble que l'expertise des participants risque de biaiser les résultats, notamment dans le développement de mesures perceptives qui reposent sur un jugement de soi-même. Il est aussi courant d'observer l'inclusion, par les expérimentateurs, de leurs propres étudiants, comme dans certaines études en perception de l'effort articulatoire, que nous avons décrites dans le détail plus haut. Outre les

préjugés que ces participants non naïfs peuvent avoir sur la notion d'effort dans la production de la parole, nous rappelons qu'il n'est pas éthique de réaliser des expériences sur ses subordonnés.

4.1.1.2.2. Types de tâches

Chez les locuteurs naïfs, le problème inverse se pose, qui est la méconnaissance de la notion d'effort phonatoire et sa confusion avec la qualité vocale, dont la perception nous semble être plus prégnante. En particulier, dans les expériences de perception, il est souvent demandé aux locuteurs de juger de leur effort après la réalisation d'une tâche de parole, dont la durée peut varier entre plusieurs secondes et plusieurs minutes (Ford Baldner et al., 2015; Rosenthal et al., 2014; Solomon et al., 2003). Parfois même, il est demandé à un auditeur de juger de l'effort du locuteur, après l'écoute des enregistrements acoustiques de ces tâches de parole longues (Heller Murray, Hands, Calabrese, & Stepp, 2016; Lien et al., 2015; Stepp & Eadie, 2011; Stepp et al., 2012). Dans ces conditions l'effort phonatoire n'est pas ciblé.

Par ailleurs, puisque nous ne disposons pas actuellement de normes pour les mesures de l'effort phonatoire et que la plupart de ces mesures dépendent des qualités vibratoires individuelles des plis vocaux, il n'apparaît pas opportun d'effectuer des comparaisons entre les niveaux d'effort de deux individus. En revanche, pour permettre des comparaisons intra-individuelles, il apparaît nécessaire d'éliciter différents niveaux d'effort dans la phonation pour un même individu. Comme nous l'avons présenté, différentes méthodes sont utilisées pour induire un effort phonatoire chez des locuteurs, comme l'augmentation de l'intensité ou de la hauteur dans la production de la parole vocale. Cependant, ces méthodes n'ont pas été éprouvées, c'est-à-dire qu'aucune association de mesure perceptive et physique de l'effort phonatoire n'a mis en évidence une différence entre la production de voix usuelle et de voix forcée, selon l'un de ces paramètres. Les productions sont même rarement contrôlées par les mesures acoustiques respectives du niveau de pression sonore (SPL) ou de la fréquence fondamentale (F0). Ces méthodes sont le plus couramment validées par autre mesure physique aérodynamique, la résistance glottique (GR), dont la technique d'estimation nous paraît discutable (Grillo et al., 2009, 2010; Rosenthal et al., 2014).

4.1.1.2.3. Types de mesures

En ce qui concerne les mesures physiques, nous observons que les expérimentateurs utilisent souvent des mesures aérodynamiques incomplètes, notamment la différence de pression autour de

la glotte (ΔGP). Le seuil de pression phonatoire (PTP) est d'ailleurs souvent considéré comme une mesure de l'effort phonatoire (Ford Baldner et al., 2015). Pourtant, il correspond en vérité à l'effort minimal requis pour initier et soutenir la vibration des plis vocaux. Si cette mesure est intéressante dans l'étude de l'effort phonatoire, elle procure surtout une information sur la qualité des plis vocaux et n'indique pas le niveau d'effort effectif pendant la parole vocale. Une mesure aérodynamique adaptée à l'évaluation de l'effort phonatoire est la résistance glottique (GR), bien qu'elle dépende tout de même des qualités vibratoires des plis vocaux, notamment de la possibilité de leur accolement. Cependant, cette mesure est toujours estimée par une méthode que nous avons décrite comme peu fiable, entre autres choses, parce qu'elle repose sur l'idée que la constriction glottique est nulle pendant la réalisation des consonnes non voisées. Les autres mesures physiques, comme les diverses mesures acoustiques que nous avons évoquées, dépendent également toutes des qualités intrinsèques des plis vocaux, et non seulement de l'effort phonatoire. Aucune de ces mesures ne peut être validée en l'absence de mesure perceptive quantitative de cet effort.

4.1.2. Effort phonatoire et effort articulatoire

Le développement d'une mesure perceptive de l'effort phonatoire est compromis par les difficultés de caractérisation de cet effort, par rapport à l'effort articulatoire. En effet, l'activité glottique de phonation s'accompagne obligatoirement d'une activité sus-glottique d'articulation. Une solution couramment envisagée est de procéder à des mesures sur les voyelles isolées, pour lesquelles le locuteur peut maintenir son articulation. Cependant, chez les sujets sains, la mise en vibration des plis vocaux lorsque la pression d'air sus-glottique ou intra-orale (IOP) est nulle ne paraît pas requérir d'effort particulier. Une solution opposée, de plus en plus appliquée, est de procéder à des mesures perceptives à la suite d'une session de parole prolongée. Si cette technique d'augmentation de la durée de la phonation peut effectivement induire un effort perceptible, la réalisation d'une mesure non simultanée à la phonation ne peut pas donner de résultat quantitatif précis. Par ailleurs, pour les mesures physiques, l'estimation de la résistance glottique au flux d'air (GR) est effectuée à partir de mesures de l'IOP et du débit du flux d'air oral ou trans-articulatoire (TAF). Elle est donc dépendante de la force articulatoire. Or, l'effort articulatoire n'est jamais contrôlé dans les études portant sur l'effort phonatoire, ne serait-ce que par une simple mesure de la résistance articulatoire (AR) au flux d'air.

4.2. Dispositions prises

Dans ce travail de thèse, nous avons souhaité explorer l'effort phonatoire chez des sujets sains, afin de tester les différentes mesures, perceptives et physiques, et si possible de dégager des normes. Nous avons réalisé les expériences sur des nombres égaux d'hommes et de femmes. Nous avons aussi réalisé les expériences sur des individus d'âges différents. Cependant, nous avons restreint la tranche d'âge étudiée en incluant des participants témoins de plus de 15 ans, afin de limiter la proportion d'hommes pré-pubères, et à moins de 55 ans, afin de limiter la proportion de femmes ménopausées. Nous avons, dans la mesure du possible, recruté un grand nombre de participants naïfs. Enfin, nous avons tenté d'inclure un échantillon représentatif de la population française, avec des profils sociolinguistiques et des habitudes d'hygiène vocale variés. Nous avons également testé les deux principales mesures que nous avons tenté de développer sur des patients.

L'une de ces mesures est perceptive et l'autre est physique. Les deux mesures ciblent l'effort phonatoire dans la production des consonnes voisées ou des voyelles adjacentes aux consonnes non voisées. D'une part, nous essayons de développer une mesure quantitative de la perception de l'effort pendant la production d'une consonne voisée, lors de laquelle la vibration des plis vocaux est contrainte par les forces aérodynamiques sus-glottiques. Pour cela, nous proposons une tâche de comparaisons répétées entre des consonnes voisées et non voisées appariées. D'autre part, nous essayons d'adapter une mesure physique acoustique, la fréquence fondamentale relative (RFF), afin de gommer les variations interindividuelles. Pour cela, nous proposons de mesurer l'écart de fréquence fondamentale (F_0), mesurée sur les trois cycles vibratoires des transitions entre voyelles et consonnes, relatif à la F_0 mesurée sur 3,5 cycles moyens au centre de gravité des voyelles. Contrairement à l'auteur de la mesure originale de RFF, nous explorons les consonnes non voisées, mais aussi les consonnes voisées. Afin d'observer les variations de notre mesure adaptée (RFF_a), nous souhaitons induire un effort phonatoire chez les participants témoins. Nous avons donc exploré diverses méthodes d'élicitation pour repérer des patterns chez les locuteurs. Nous avons évalué cette nouvelle mesure physique de l'effort phonatoire à l'aune d'autres mesures acoustiques fournissant des indices de cet effort, telles que le taux de voisement ($V\%$) des consonnes, ou le niveau de pression sonore (SPL), la fréquence fondamentale (F_0) et l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) des voyelles. Nous évaluons aussi la validité de la mesure de RFF_a

par rapport à deux mesures aérodynamiques adaptées, telles que l'écart estimé de résistance glottique (GR) entre les consonnes fricatives voisées et non voisées ou l'écart estimé de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) entre les consonnes occlusives voisées et non voisées, toutes produites sur une même expiration phonatoire. En plus de ces diverses mesures, nous avons contrôlé les variations d'effort articulatoire grâce à des mesures de durée segmentale, de résistance articulatoire (AR) des voyelles et des consonnes fricatives ou de pression mécanique de contact (MCP) au niveau des articulateurs des consonnes.

4.3. Hypothèses

4.3.1. Nouvelle mesure perceptive

Nous formulons la première hypothèse que l'effort phonatoire peut être perçu, au même titre que l'effort articulatoire, dans des comparaisons binaires de consonnes, insérées dans des syllabes. Nous supposons que la différence de force articulatoire observée entre les consonnes voisées et non voisées est une conséquence des différences aérodynamiques engendrées par le geste glottique. Ce geste d'ouverture-fermeture réalisé au niveau glottique pendant la production des consonnes non voisées, entraîne une augmentation de la pression intra-orale (IOP) et requiert donc un effort articulatoire pour maintenir la constriction sus-glottique. Au contraire, pendant la production des consonnes voisées, l'IOP est moindre et le locuteur n'a donc pas besoin d'augmenter sa force articulatoire pour maintenir la configuration de la consonne. Malgré cela, nous pensons que des locuteurs naïfs pourraient percevoir un effort plus important pendant la production des consonnes voisées que des non voisées correspondantes. En effet, lors de l'articulation d'une consonne, l'IOP augmente et entraîne une diminution de la différence de pression autour de la glotte (ΔGP) qui, si elle n'est pas compensée, aboutit à l'arrêt de la vibration des plis vocaux. Les locuteurs produisent donc un effort au niveau des muscles laryngés intrinsèques pour maintenir cette vibration pendant la réalisation des consonnes voisées. Dans ce cas, l'effort phonatoire devrait être d'autant plus important que l'IOP augmente, c'est-à-dire que le degré de constriction est grand et la taille du conduit vocal est petite. Il devrait donc être supérieur pour les consonnes occlusives que pour les fricatives et pour les consonnes postérieures que pour les antérieures. De plus, l'effort phonatoire devrait être plus important lorsque le locuteur doit initier la vibration des plis vocaux pendant la

constriction sus-glottique, dans des structures de type consonne-voyelle (#CV), que dans des structures de type voyelle-consonne-voyelle (VCV). Par ailleurs, nous supposons que l'effort de compression des plis vocaux pendant la production des consonnes voisées peut être perçu en l'absence de vibration effective des plis vocaux, dans la parole chuchotée par exemple. Enfin, nous émettons l'idée que cet effort phonatoire pendant la production des consonnes voisées correspond à un geste glottique de fermeture-ouverture, par opposition à celui qui est décrit pour les consonnes non voisées, et qu'il pourrait donc être perçu chez autrui grâce à l'activation motrice induite par sa perception.

4.3.2. Nouvelle mesure acoustique

Nous formulons la seconde hypothèse que l'effort phonatoire peut être mesuré, au niveau du phonème, simplement dans le signal acoustique. Nous pensons que cet effort correspond à des ajustements glottiques, qu'il s'agisse d'un geste défini ou non, permettant d'initier ou de maintenir la vibration des plis vocaux. Ces ajustements correspondraient à l'augmentation de l'activité des muscles thyro-aryténoïdiens (TA) responsables de la compression des deux tiers membraneux des plis vocaux, voire aussi des muscles crico-thyroïdiens (CT) responsables de leur élongation, leur tension et leur rigidification. Nous estimons que, lors de la transition entre une voyelle et une consonne voisée (VC), l'effort phonatoire limite la diminution de la fréquence fondamentale (F0) alors que, au contraire, lors de la transition entre une consonne non voisée et une voyelle (CV), il limite l'augmentation de F0. Nous proposons une adaptation de la mesure existante de fréquence fondamentale relative (RFF) qui permet d'évaluer les variations de F0 dans ces transitions. Nous estimons que cette mesure adaptée (RFF_a), en rapportant la F0 aux frontières des consonnes à la F0 au centre de gravité des voyelles, permet de réaliser des comparaisons interindividuelles.

II

Expériences

&

Résultats

5. Dispositif expérimental

Nous avons mené six expériences, dont cinq expériences exploratoires auprès de participants témoins et une expérience clinique auprès de patients dysphoniques. Chez les participants témoins, nous avons envisagé uniquement le versant de la perception dans les trois premières expériences et uniquement le versant de la production dans les deux dernières. L'expérience n°1 portait sur l'auto-perception de l'effort en parole modale, l'expérience n°2 sur l'auto-perception de l'effort en parole chuchotée et l'expérience n°3 sur l'hétéro-perception de l'effort en parole modale. Pour les expériences en production, la distinction résidait dans les instruments de mesures physiques utilisés : l'expérience n°4 associait des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques alors que l'expérience n°5 ne comportait que des mesures acoustiques. Enfin, chez les patients, nous avons collecté conjointement des données perceptives et acoustiques pendant un bilan de la phonation. Dans toutes les expériences, nous avons étudié plusieurs consonnes orales du français, occlusives et fricatives avec un contraste de voisement, associées à une voyelle orale ouverte. Nous avons aussi étudié plusieurs types de parole : vocale et chuchotée, vocale modale et basale, vocale modale usuelle et inusuelle avec un contrôle au niveau de l'intensité, de la hauteur ou de la qualité. Nous avons employé différentes méthodes expérimentales en adaptant les procédures en fonction du caractère exploratoire ou clinique des expériences. Nous avons traité des données perceptives

et des données physiques, qui pouvaient être physiologiques, aérodynamiques ou acoustiques. Enfin, nous avons analysé les résultats par groupes pour les participants témoins et au cas par cas pour les patients.

5.1. Participants

Parmi les participants, nous distinguons les individus témoins, sans plainte vocale ni trouble perceptible de la voix, et les patients. Par ailleurs, dans l'expérience n°3, des stimuli acoustiques ont été enregistrés auprès de quatre locuteurs que nous présentons également dans cette partie. Les variables indépendantes pour tous ces participants sont présentées dans le Tableau 19, page 99.

5.1.1. Témoins

Au total, 138 participants témoins ont été inclus dans au moins l'une des cinq expériences exploratoires que nous avons menées. Certains ont pris part à plusieurs expériences : de deux expériences pour 30 des participants à quatre expériences pour cinq autres, en passant par trois expériences pour un dernier participant. Chaque expérience portait sur un nombre strictement égal d'hommes et de femmes. Selon les expériences, l'âge des participants variait entre 15 et 55 ans environ. Tous les participants témoins ont été recrutés parmi nos relations (parents, amis, collègues, connaissances). Seuls les participants aux expériences n°2 et n°3 ont été rémunérés 10 euros. La répartition de ces participants dans les différents groupes expérimentaux est résumée dans le Tableau 13, page 90, et schématisée sur la Figure 15, page 91.

5.1.1.1. Variables indépendantes

5.1.1.1.1. Expérience n°1

Pour l'expérience n°1 d'auto-perception de l'effort en parole modale, qui avait lieu en 2014, nous avons inclus un total de 96 participants volontaires. Nous avons d'abord recruté 117 individus de langue première française, sans plainte vocale, nés entre 1960 et 1999. Au fil des passations, nous avons exclu 21 individus dont 16 qui présentaient des troubles de la voix ou de l'articulation. En effet, en notre qualité d'orthophoniste, nous avons perçu des troubles de la voix (dysphonies)

chez huit locuteurs et des troubles de l’articulation (sygmatismes ou rhinolalies) chez sept autres locuteurs, ainsi qu’une association de ces deux types de troubles chez un dernier locuteur. En ce qui concerne les cinq autres individus exclus : l’un présentait un trouble auditif handicapant, un autre présentait un trouble de la lecture handicapant et semblait donner des réponses aléatoires, deux individus paraissaient manquer d’investissement au cours de la tâche et donner des réponses aléatoires et, enfin, un locuteur portait un piercing lingual susceptible de gêner l’articulation de la parole. Les 96 participants inclus pouvaient être répartis en groupes strictement égaux en fonction de leur sexe (femme/homme), de leur âge (jeune/vieux) ou de la consigne de la tâche (indiquer l’item le plus facile/difficile dans la paire), comme présenté dans le Tableau 10.

		Décennie de naissance					
		1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999		
<i>Total</i>		24	24	24	24	<i>Total</i>	
Sexe	Femme	6	6	6	5	23	Facile
		6	6	6	7	25	Difficile
	Homme	7	6	6	6	25	Facile
		5	6	6	6	23	Difficile
<i>Total</i>		48		48		96	
		Vieux		Jeune		Age	

Total des participants devant indiquer l’item le plus facile : 48 ; le plus difficile : 48

Tableau 10 : répartition des participants de l’expérience n°1 en fonction de leur sexe, de leur âge et de la consigne qui leur a été donnée

5.1.1.1.2. Expérience n°2

Pour l’expérience n°2 d’auto-perception de l’effort en parole chuchotée, qui avait lieu en 2015, nous avons inclus un total de 24 participants rémunérés. Nous avons, d’un côté, inclus 12 participants issus de l’expérience n°1, hommes et femmes, qui étaient nés entre 1960 et 1979 (groupe d’âge « vieux ») et devaient indiquer l’item le plus facile à produire pendant cette première expérience (groupe de consigne « facile »). Nous avons également été contraints de sélectionner des individus qui résidaient dans le Sud-Est de la France et étaient disponibles au moment de cette deuxième expérience. De plus, nous avons choisi les participants qui présentaient les plus forts taux de perception de la difficulté de production des consonnes voisées en parole modale, en comparaison des consonnes non voisées, afin d’observer si ce taux diminuait en parole chuchotée. Pour ces participants particuliers, le délai moyen entre les deux expériences de perception, en

parole modale et en parole chuchotée, était environ de neuf mois et demi. De l'autre côté, nous avons recruté 13 individus de langue première française, sans plainte vocale, nés entre 1960 et 1979, pour inclure 12 nouveaux participants. Lors de la passation, nous avons exclu un locuteur qui était équipé d'un palais artificiel susceptible de gêner l'articulation de la parole. Les 24 participants pouvaient être répartis en groupes strictement égaux en fonction de leur sexe (femme/homme) et de leur participation à l'expérience précédente (oui/non), comme présenté dans le Tableau 11.

		Participation à l'expérience n°1		<i>Total</i>
		Oui	Non	
Sexe	Femme	5	7	12
	Homme	7	5	12
<i>Total</i>		12	12	24

Tableau 11 : répartition des participants de l'expérience n°2 en fonction de leur sexe et de leur participation préalable à l'expérience n°1

5.1.1.1.3. Expérience n°3

Pour l'expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale, qui avait également lieu en 2015, nous avons inclus un total de 24 participants rémunérés. Nous avons, d'un côté, inclus 12 participants issus de l'expérience n°1, hommes et femmes, qui étaient nés entre 1980 et 1999 (groupe d'âge « jeune ») et devaient indiquer l'item le plus difficile à produire pendant cette première expérience (groupe de consigne « difficile »). Nous avons de nouveau été contraints de sélectionner des individus qui résidaient dans le Sud-Est de la France et étaient disponibles au moment de la troisième expérience. Là encore, nous avons choisi les participants qui présentaient les plus forts taux d'auto-perception de la difficulté de production des consonnes voisées, en comparaison des consonnes non voisées, afin d'observer, ici, si ce taux diminuait en hétéro-perception. Pour ces participants particuliers, le délai moyen entre les deux expériences, en auto-perception et en hétéro-perception, était environ de 10 mois et demi. De l'autre côté, nous avons recruté 14 individus de langue première française, sans plainte vocale, nés entre 1980 et 1999, pour inclure 12 nouveaux participants. Au fil des passations, nous avons exclu un individu qui présentait un trouble auditif handicapant et un autre qui souffrait de migraine pendant la complétion de la tâche et semblait, de ce fait, manquer d'investissement et donner des réponses aléatoires. Les 24 participants pouvaient être répartis en groupes strictement égaux en fonction de leur sexe

(femme/homme) et de leur participation à la première expérience (oui/non), comme présenté dans le Tableau 12.

		Participation à l'expérience n°1		<i>Total</i>
		Oui	Non	
Sexe	Femme	7	5	12
	Homme	5	7	12
<i>Total</i>		12	12	24

Tableau 12 : répartition des participants de l'expérience n°3 en fonction de leur sexe et de leur participation préalable à l'expérience n°1

5.1.1.1.4. Expérience n°4

Pour l'expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques, qui avait lieu fin 2015, nous avons inclus un total de 12 participants volontaires. D'un côté, nous avons inclus six participants issus de l'expérience n°1, hommes et femmes, nés entre 1980 et 1999 (groupe d'âge « jeune »), sans tenir compte de la consigne qu'ils avaient reçue lors de cette première expérience. Cinq d'entre eux avaient par ailleurs participé à l'expérience n°3. Nous avons encore une fois retenu les individus qui étaient disponibles et qui résidaient dans le Sud-Est de la France, et plus spécifiquement dans les Bouches-du-Rhône, car l'expérience se tenait au sein du Laboratoire Parole et Langage (LPL), situé à Aix-en-Provence. Pour ces participants particuliers, le délai moyen entre l'expérience n°1 de perception et cette expérience de production était environ d'un an. Pour les cinq participants qui avaient également participé à l'expérience n°3 de perception, trois mois environ s'étaient écoulés depuis leur dernière participation. De l'autre côté, nous avons recruté et inclus six nouveaux participants de langue première française, sans plainte vocale, qui étaient nés entre 1980 et 1999. Les 12 participants pouvaient être répartis en deux groupes strictement égaux en fonction de leur sexe (femme/homme) et de leur participation préalable à une ou plusieurs expériences de perception (oui/non).

5.1.1.1.5. Expérience n°5

Pour l'expérience n°5 de production avec des mesures acoustiques uniquement, qui avait également lieu fin 2015, nous avons inclus un total de 24 participants volontaires. D'un côté, nous avons inclus la totalité des 12 participants de l'expérience n°4. Parmi eux, nous le rappelons, un individu avait pris part à l'expérience n°1 et cinq autres avaient pris part aux expériences n°1 et

n°3. Le délai moyen entre ces deux expériences de production était de 6 jours. Cependant, neuf participants ont réalisé l'expérience n°4 le matin et l'expérience n°5 l'après-midi, le même jour. De l'autre côté, nous avons recruté 13 individus de langue première française, sans plainte vocale, nés entre 1980 et 1999, pour inclure 12 nouveaux participants. Lors de la passation, nous avons exclu un individu qui présentait un trouble de la lecture handicapant. Tous les nouveaux participants résidaient dans le Sud-Est de la France, et plus spécifiquement dans les Bouches-du-Rhône, car l'expérience se tenait de nouveau au sein du Laboratoire Parole et Langage (LPL), situé à Aix-en-Provence. Les 24 participants pouvaient être répartis en deux groupes strictement égaux en fonction de leur sexe (femme/homme) et de leur participation à l'expérience n°4 (oui/non).

Description	Expérience				
	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5
	Auto-perception en parole modale	Auto-perception en parole chuchotée	Hétéro-perception en parole modale	Production avec mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques	Production avec mesures acoustiques
Nombre de participants	96	24	24	12	24
<i>dont nouveaux</i>	96	12	12	6	12
<i>issus de l'expérience n°1</i>	–	12	12	1	–
<i>issus des expériences n°1 et n°3</i>	–	–	–	5	–
<i>issus des expériences n°1, n°3 et n°4</i>	–	–	–	–	12
Date de début	18/07/2014	16/05/2015	16/07/2015	13/10/2015	26/10/2015
Date de fin	13/12/2014	28/09/2015	14/10/2015	02/11/2015	27/11/2015
Délai moyen (<i>écart-type</i>) après l'expérience n°1	–	288 jours (38 jours)	324 jours (50 jours)	368 jours (48 jours)	380 jours (48 jours)
Délai moyen (<i>écart-type</i>) après l'expérience n°3	–	–	–	91 jours (7 jours)	100 jours (8 jours)
Délai moyen (<i>écart-type</i>) après l'expérience n°4	–	–	–	–	6 jours (11 jours)
Groupes de consigne	Difficile et facile	Facile	Difficile	–	–
Groupes d'âge	Jeunes et vieux	Vieux	Jeunes	Jeunes	Jeunes
Age moyen (<i>écart-type</i>)	34 ans ; 1 mois (11 ans ; 6 mois)	48 ans ; 6 mois (3 ans ; 8 mois)	25 ans ; 7 mois (1 an ; 9 mois)	26 ans ; 11 mois (1 an ; 11 mois)	27 ans ; 3 mois (2 ans ; 1 mois)
Age minimum	15 ans ; 7 mois	41 ans ; 10 mois	21 ans ; 11 mois	23 ans ; 6 mois	21 ans ; 1 mois
Age maximum	54 ans ; 6 mois	55 ans ; 3 mois	29 ans ; 7 mois	32 ans ; 2 mois	33 ans ; 3 mois
Etendue de la tranche d'âge	38 ans ; 11 mois	13 ans ; 5 mois	8 ans ; 8 mois	8 ans ; 8 mois	12 ans ; 2 mois
Rémunération	–	10 €	10 €	–	–

Tableau 13 : modalités de participation des témoins aux cinq expériences exploratoires

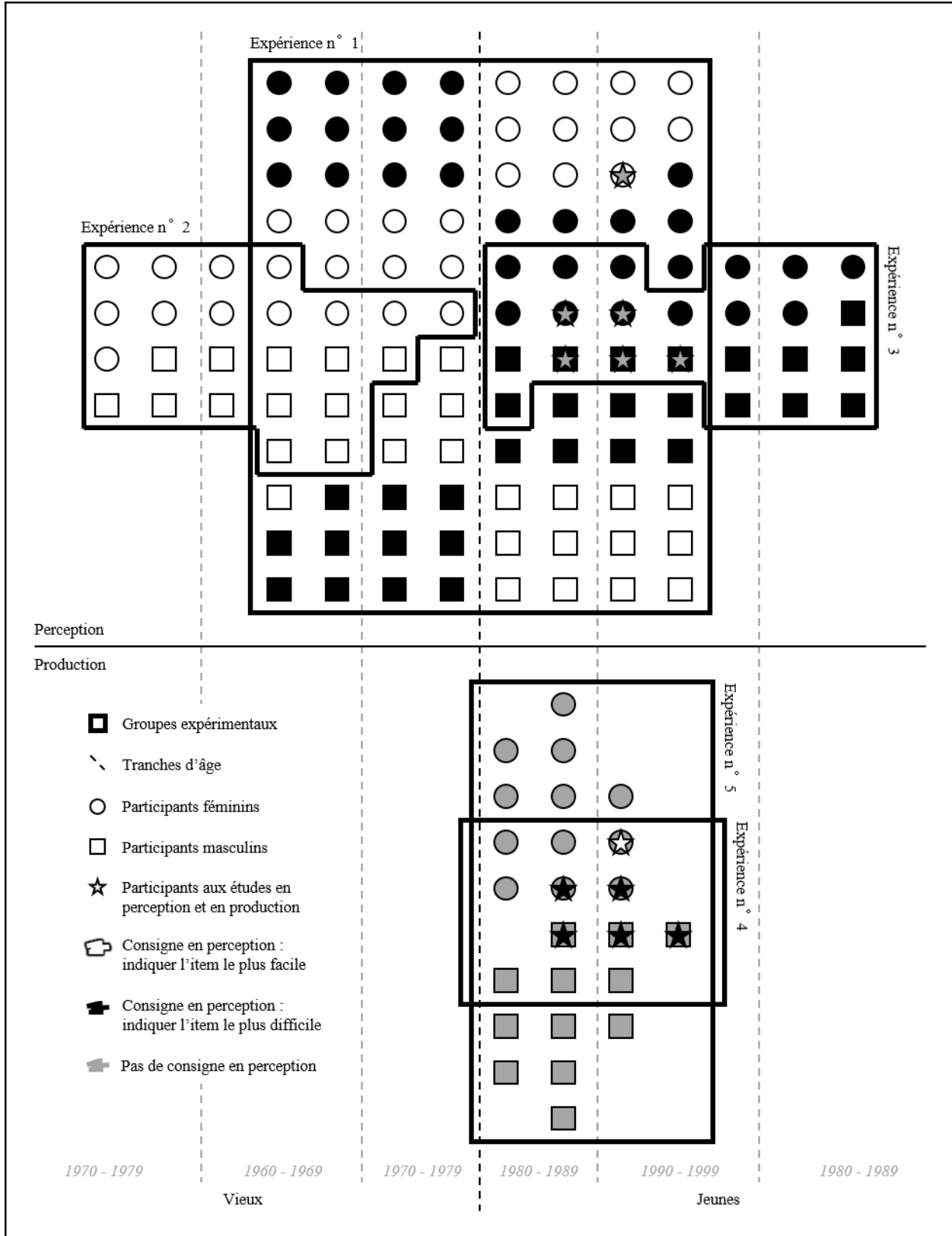
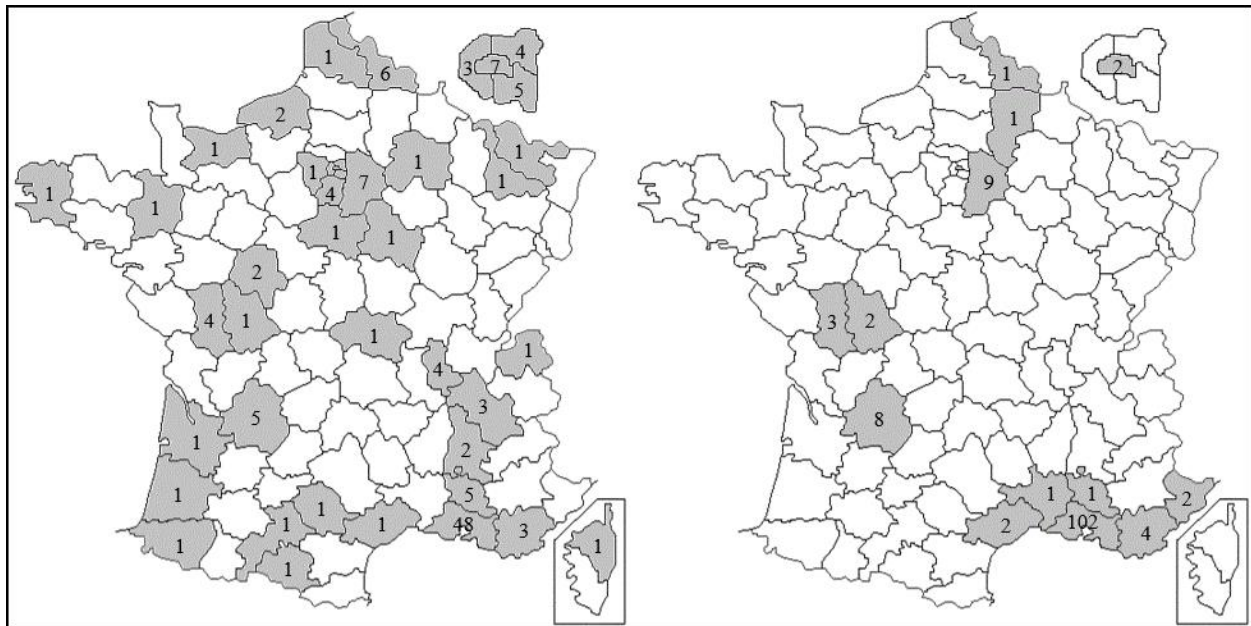


Figure 15 : répartition des participants témoins entre les cinq expériences exploratoires

5.1.1.2. Autres facteurs de variation

Du fait des inclusions multiples de plusieurs participants témoins dans les expériences, nous considérons leur ensemble comme un groupe. Cependant, dans chaque expérience, nous avons décrit des critères de groupement comme le sexe, l'âge, la consigne de la tâche ou la participation préalable à une autre expérience, comme présenté plus bas dans le Tableau 19, qui forment des variables indépendantes pour les analyses statistiques. Nous décrivons ensuite d'autres facteurs de variation (linguistiques, sociaux, médicaux) qui ne font pas, eux, l'objet d'analyses statistiques.

5.1.1.2.1. Facteurs linguistiques



Lieux de naissance : département d'outremer ($n=1$) ; Allemagne ($n=2$).

Figure 16 : répartition des participants témoins en fonction de leur département de naissance (gauche) et de résidence (droite) en France métropolitaine

Lors du recrutement des participants témoins, nous avons eu la volonté de former un échantillon représentatif de la population française. Notamment, nous avons inclus des participants nés, ayant résidé et résidant dans différentes régions de France. En conséquence, ces participants présentaient des accents régionaux variés. Cependant, la plupart des participants ont été recrutés dans le Sud-Est de la France et 38 des 48 participants n'ayant jamais résidé dans un autre endroit que leur lieu de naissance se trouvaient dans le Sud-Est. Les départements français métropolitains

de naissance et de résidence des participants sont présentés sur la Figure 16. Trois participants n'étaient pas nés en France métropolitaine : l'un d'eux était né dans les Antilles françaises et les deux autres étaient nés en Allemagne. A noter que, par un biais de recrutement, la plupart des participants entretenaient entre eux des liens familiaux, amicaux ou professionnels. Nous avons aussi tenté de représenter les départements visités et les départements non quittés sur la Figure 17.

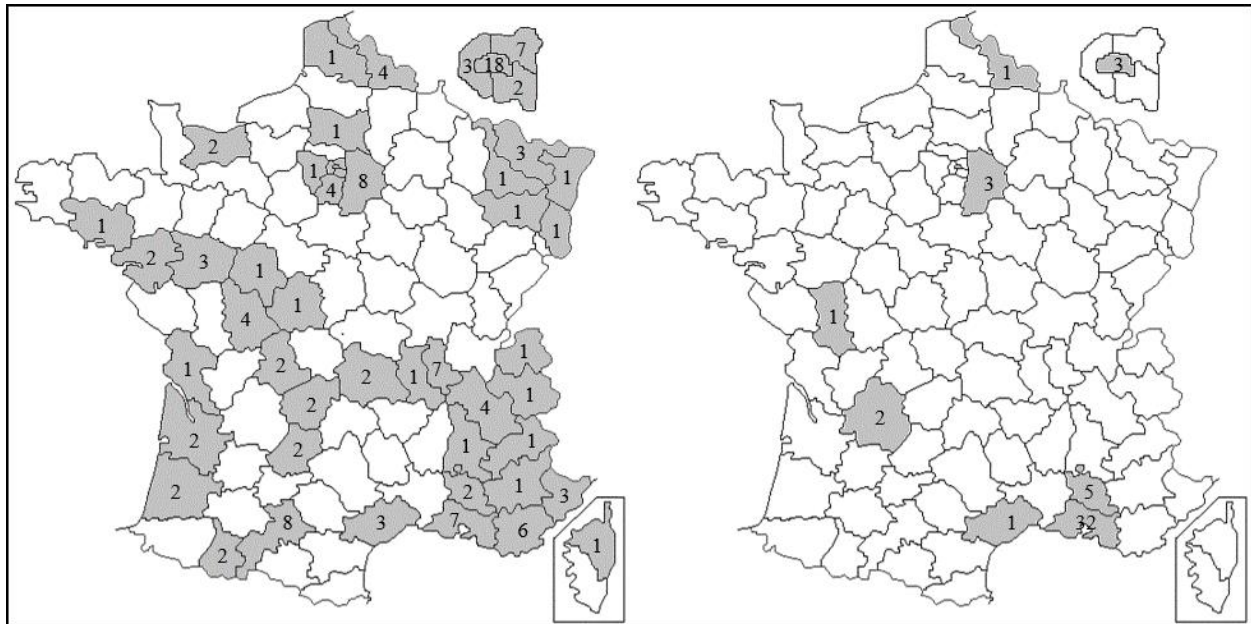


Figure 17 : nombre de participants témoins ayant vécu dans d'autres départements que celui de leur naissance ou de leur résidence (gauche) et ayant toujours vécu dans leur département de naissance (droite)

Tous les participants avaient pour première langue le français, mais 63 participants se déclaraient plurilingues, dont 53 bilingues. La langue étrangère la plus couramment parlée était l'anglais avec 49 locuteurs. Venaient ensuite l'espagnol avec 11 locuteurs, l'arabe ou l'italien avec six locuteurs chacun, l'allemand avec deux locuteurs et le danois, l'arménien, le mandarin ou le créole martiniquais avec un locuteur chacun. Parmi ces participants plurilingues, 29 avaient vécu plus de deux mois dans un pays étranger : en Europe du Sud (Italie), en Europe de l'Est (Allemagne, Arménie, Lituanie), en Europe du Nord (Danemark, Pays-Bas, Suède), en Europe de l'Ouest (Irlande, Royaume-Uni), en Amérique du Nord (Canada, Etats-Unis), en Amérique du Sud (Argentine, Pérou), en Asie de l'Est (Corée du Sud, Japon, Taiwan), en Asie du Sud (Laos, Singapour, Vietnam), au Moyen-Orient (Jordanie, Oman, Syrie), au Maghreb (Egypte, Libye, Tunisie), en Afrique centrale (Cameroun, Congo, Tchad) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal). Les

138 participants témoins, bien qu'apparentés, présentaient donc des profils sociolinguistiques relativement variés.

5.1.1.2.2. Facteurs sociaux

Au niveau socioprofessionnel, nous avons également tenté de composer un échantillon représentatif de la population française. Comme indiqué dans le Tableau 14, 49 participants poursuivaient des études et 104 disposaient d'un emploi. Parmi les étudiants, nous comptons sept lycéens, trois étudiants en formation professionnelle, trois préparant un diplôme d'état, cinq étudiants en licence dont un employé, neuf en master dont un employé et 22 en doctorat dont 21 employés. Parmi les participants, employés ou non, 22 connaissent un métier dans le domaine paramédical dont cinq infirmiers, cinq psychologues et trois orthophonistes, 19 dans le domaine de la recherche, 12 dans l'informatique, 11 dans l'éducation dont six enseignants, neuf dans la vente, neuf autres dans l'artisanat, huit dans la manutention, cinq dans le médical, cinq autres dans l'ingénierie et cinq dans le secrétariat, deux dans le social, deux autres dans la comptabilité et deux dans le droit et, enfin, un dans les forces de l'ordre. A noter que, de nouveau par un biais de recrutement, les participants ayant reçu une formation universitaire étaient surreprésentés avec 91 individus, dont la moitié possédait au moins un diplôme de master. Seulement 25 participants avaient bénéficié d'une formation professionnelle et les 20 autres n'avaient suivi aucune formation diplômante. Les sciences humaines et sociales représentaient le domaine de formation universitaire le plus fréquent, comme indiqué dans le Tableau 15, avec notamment les sciences paramédicales et médicales, la psychologie et la linguistique. Seuls deux orthophonistes et trois diplômés en linguistique, dont deux licenciés (langue anglaise ou littérature française) et un docteur (syntaxe arabe), ont participé aux expériences de perception impliquant un jugement. L'échantillon semblait varié en termes d'emploi mais non de formation, avec une majorité de diplômés d'université.

		Etudiant		<i>Total</i>
		Oui	Non	
Employé	Oui	23	81	<i>104</i>
	Non	26	8	<i>34</i>
<i>Total</i>		<i>49</i>	<i>89</i>	<i>138</i>

Tableau 14 : nombre d'employés et d'étudiants parmi les participants témoins

		Diplôme				Total	
		–	Licence	Master	Doctorat		
Sciences	Médical et paramédical	2	9	6	2	19	
	Psychologie	–	1	9	4	14	
	Linguistique	–	4	5	2	11	
	Education	1	3	1	–	5	
	Communication	–	2	1	2	5	
	Droit	–	–	4	–	4	
	Sociologie	1	1	1	–	3	
	Humaines et sociales	Histoire	–	–	3	–	3
	Anthropologie	–	1	1	–	2	
	Architecture	–	1	–	–	1	
	Art	–	1	–	–	1	
	Musicologie	–	–	1	–	1	
	Géographie	–	–	1	–	1	
	Economie	–	–	1	–	1	
	Politique	–	–	–	1	1	
	Naturelles	Physique	–	1	6	–	7
		Chimie	–	1	1	1	3
Biologie		1	1	–	–	2	
Géologie		–	1	–	–	1	
Formelles	Informatique	–	1	4	1	6	
	Mathématiques	–	2	–	–	2	
<i>Total</i>		5	30	45	13	93	

Tableau 15 : formations universitaires suivies par les participants témoins

5.1.1.2.3. Facteurs médicaux

Nous avons relevé des données concernant la santé vocale des participants et, notamment, l'exposition à des substances irritantes. Comme indiqué dans le Tableau 16, 102 participants rapportaient un tabagisme au cours de leur vie. Parmi eux, 54 individus présentaient un tabagisme actuel chronique. Le tabagisme chronique s'élevait à 10 paquets-années (PA) en moyenne, mais pouvait varier de 2 à 60PA. De plus, 19 participants souffraient d'un reflux gastro-œsophagien (RGO) connu mais un seul bénéficiait d'un traitement permanent. Parmi les autres, 13 individus ne suivaient aucun traitement et les cinq autres n'étaient traités qu'occasionnellement. Le tabac, comme le RGO et certains traitements de l'asthme, sont des substances irritantes pour les plis vocaux. Cependant, parmi les 13 participants souffrant d'asthme, 10 n'étaient traités qu'occasionnellement et les trois autres ne prenaient aucun traitement. Par ailleurs, 68 participants

déclaraient pratiquer un sport, dont 35 un sport d'endurance (athlétisme, cyclisme, natation, escalade) et 11 un sport de balle (tennis, football, basketball, rugby, hockey). Les 23 derniers pratiquaient des sports de type danse, fitness ou art martiaux. Ces activités physiques ont pu améliorer leur capacité pulmonaire. De plus, les 96 participants de l'expérience n°1 ont répondu à un questionnaire de qualité de vie relatif à la voix couramment utilisé dans l'évaluation de la plainte vocale, le *Voice Handicap Index (VHI)* (Jacobson et al., 1997). Ils ont obtenu un score moyen de 11 sur 120, équivalent à 9%. L'échantillon nous semble ici assez représentatif de la population française avec, notamment, un taux de tabagisme important.

		Type		Total
		Occasionnel	Chronique	
Tabagisme	Sevré	5	24	29
	Actuel	19	54	73
Total		24	78	102

Tableau 16 : tabagisme chez les participants témoins

Nous avons également relevé des données relatives à d'autres troubles ou particularités présentés par les 138 participants témoins. Certains participants souffraient de troubles de la vision rapprochée, dont deux n'étaient pas corrigés mais n'entraînaient pas de handicap visuel (une presbytie et une hypermétropie) et trois étaient corrigés mais entraînaient quand même un handicap visuel (myopies). Deux des participants présentant un handicap visuel ont pris part à l'expérience n°1 et le dernier a pris part aux expériences n°4 et n°5. Plusieurs patients avaient une histoire de troubles simples de l'articulation (sygmatismes), mais ne présentaient plus ces troubles au moment de l'expérimentation. Au niveau oral toujours, deux participants présentaient un frein de langue court, deux autres présentaient une anomalie de l'articulé dentaire (classe 2 ou articulé croisé) et deux derniers portaient habituellement un piercing sur la lèvre inférieure mais l'ont retiré pendant la passation. En ce qui concerne les troubles cognitifs, 17 participants se plaignaient de troubles mnésiques, en particulier parmi les individus nés entre 1960 et 1969, et trois se plaignaient de troubles attentionnels. Pour 10 participants, nous retrouvions une histoire de troubles des apprentissages et, pour un autre participant, une histoire d'aphasie aiguë datant de plus de 10 ans, mais tous ces troubles semblaient résorbés au moment de la passation. Enfin, un participant présentait un trouble de la motricité fine (dysgraphie) dans l'expérience n°1. Aucun de ces troubles ou particularités observés chez les participants témoins ne nous a paru justifier leur exclusion.

5.1.2. Locuteurs : Expérience n°3

Afin de créer les stimuli utilisés dans l'expérience n°3, nous avons enregistré les voix de quatre collègues chercheurs en linguistique. Il s'agissait de deux hommes et deux femmes de langue première française, sans plainte vocale, nés entre 1970 et 1989. Cependant, nous les avons choisis pour la qualité particulière de leur voix. A noter qu'aucun d'entre eux ne souffrait d'asthme. Les particularités notables de ces quatre locuteurs sont détaillées dans le Tableau 17.

	Code	Naissance		Résidence	Langue seconde	Tabagisme	RGO	
		Année	Lieu					
Sexe	Femme	a	1970	Sud-Est de la France	Sud-Est de la France	Anglais	Occasionnel actuel (<1 PA)	–
		b	1984	Est de la France	Sud-Est de la France	Anglais	–	–
	Homme	y	1970	Tunisie	Sud-Est de la France	Anglais	Chronique actuel (28 PA)	–
		z	1972	Sud-Est de la France	Sud-Est de la France	–	Chronique actuel (18 PA)	Connu mais non traité

*Variables : reflux gastro-œsophagien (RGO).
Unités : paquets-années (PA).*

Tableau 17 : facteurs de variation chez les locuteurs ayant produit les stimuli de l'expérience n°3

5.1.3. Patients : Expérience n°6

Quant aux patients dont nous présentons les cas, ils ont été inclus dans cette étude à la suite d'un bilan orthophonique de la phonation réalisé par nos soins. Ces patients appartenaient tous à la file active du service d'oto-rhino-laryngologie (ORL), sur le site de Marne-la-Vallée, dans le Grand Hôpital de l'Est Francilien (GHEF). Nous avons sélectionné tous les patients adressés par un médecin d'ORL pour un bilan orthophonique, et une rééducation si nécessaire, du fait d'une plainte vocale, entre le 1^{er} janvier et le 30 juin 2017. Nous n'avons pas inclus les patients souffrant d'une pathologie maligne (cancer). Les patients sélectionnés présentaient soit des plis vocaux normaux, soit des pathologies de la muqueuse des plis vocaux (inflammations, lésions nodulaires ou œdémateuses en phase post-chirurgicales précoce, lésions cicatricielles après chirurgie de lésions nodulaires ou de lésions induites par le papillomavirus, glotte ovalaire dans le cadre d'une presbyphonie), soit des pathologies nerveuses (paralysies laryngées unilatérales, supérieures ou récurrentielles), soit d'autres pathologies de la mobilité des plis vocaux (ankylose aryténoïdienne

unilatérale). Nous avons ensuite exclu trois patients dont la langue première n'était pas le français ainsi qu'une patiente née avant 1940. Au total, 15 patients avec une plainte vocale nés entre 1950 et 1999, dont 12 femmes, ont été retenus. Cette proportion hommes/femmes est représentative de la population étudiée. Les particularités des patients sont détaillées dans le Tableau 18. Notamment, nous observons que la plupart des patients exercent une activité professionnelle impliquant une charge vocale élevée. De plus, beaucoup d'entre eux sont exposés à des substances irritantes.

	Code	Année de naissance	Diagnostic ORL	VHI	Tabagisme	RGO	Asthme	Activité professionnelle
Femme	c	1951	Lésions cicatricielles après chirurgie de nodules	80 (67%)	Actuel (50 PA)	–	–	Retraitée
	d	1952	Larynx normal	31 (26%)	Sevré (60 PA)	Connu et non traité	–	Retraitée
	e	1954	Larynx inflammatoire	51 (43%)	Sevré (8 PA)	Connu et non traité	Traité en continu	Retraitée
	f	1955	Larynx normal	17 (14%)	–	–	–	Enseignante du secondaire
	g	1957	Glotte ovalaire	61 (51%)	–	–	Traité en continu	ATSEM
	h	1957	Paralysie supérieure unilatérale	89 (74%)	–	–	–	Banquière
	i	1960	Ankylose aryénoïdienne unilatérale	76 (63%)	–	–	–	Assistante maternelle
	j	1965	Œdème en phase post-chirurgicale précoce	–	Actuel et chronique	–	–	Assistante maternelle
	k	1966	Paralysie récurrentielle unilatérale	72 (60%)	–	–	–	Assistante sociale
	l	1975	Paralysie récurrentielle unilatérale	86 (72%)	–	–	Traité en continu	Pharmacienne
	m	1991	Lésions cicatricielles après chirurgie de lésions papillomateuses	17 (14%)	–	–	–	Vendeuse
	n	1991	Larynx inflammatoire	100 (83%)	–	Connu et non traité	–	Serveuse
Homme	v	1952	Paralysie récurrentielle unilatérale (injectée)	76 (63%)	–	–	–	Retraité
	w	1959	Larynx normal	9 (8%)	–	Connu et non traité	–	Chanteur
	x	1970	Polype en phase post-chirurgicale précoce	–	Actuel et chronique	Connu et non traité	–	Enseignant du primaire

Variables : score total du Voice Handicap Index (VHI) ; reflux gastro-œsophagien (RGO).

Tableau 18 : facteurs de variation chez les patients ayant pris part à l'expérience n°6

	Expérience					
	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6
Participants	96 témoins	24 témoins	24 témoins + 4 locuteurs	12 témoins	24 témoins	15 patients
Variables indépendantes	2 sexes 2 âges 2 consignes	2 sexes 2 groupes selon participation préalable à n°1	2 sexes 2 groupes selon participation préalable à n°1	2 sexes 2 groupes selon participation préalable à n°1	2 sexes 2 groupes selon participation préalable à n°4	–

Tableau 19 : récapitulatif des variables indépendantes pour les participants dans les six expériences

5.2. Matériel linguistique

Dans toutes les expériences réalisées, nous avons fait varier le matériel phonétique étudié et, en particulier, le voisement de la consonne. Selon les expériences, notamment en fonction du versant exploré, perception ou production, nous n'avons pas conçu ce matériel de la même façon. Par ailleurs, entre les différentes expériences de perception et dans les expériences de production, nous avons fait varier le type de parole étudié, en particulier l'intensité, la hauteur et la qualité vocale. Dans les expériences de perception, nous avons également fait varier le canal perceptif. Tous ces paramètres sont résumés dans le Tableau 29, qui est disposé page 111.

5.2.1. Consonnes

Nous avons étudié des consonnes orales du français, occlusives et fricatives, voisées et non voisées, dans différentes positions par rapport à la voyelle orale ouverte /a/. Dans la plupart des expériences, nous avons inclus 12 consonnes : trois consonnes fricatives voisées /v, z, ʒ/ et leurs correspondantes respectives non voisées /f, s, ʃ/, ainsi que trois consonnes occlusives voisées /b, d, g/ et leurs correspondantes respectives non voisées /p, t, k/. Ces consonnes sont réalisées en cinq lieux articulatoires différents : bilabial, labiodental, apico-alvéolaire, apico-post-alvéolaire et dorso-vélaire. Afin d'équilibrer les comparaisons, nous avons réarrangé ces lieux articulatoires en trois classes : antérieure pour les deux premiers lieux articulatoires mentionnés, médiane pour le troisième et postérieure pour les deux derniers. Par conséquent, les quatre consonnes désignées comme antérieures et les quatre consonnes désignées comme postérieures ne présentent pas exactement le même lieu articulatoire. En revanche, les consonnes désignées comme médianes

sont toutes apico-alvéolaires². Dans l'expérience n°4, du fait de contraintes techniques, nous avons étudié seulement les quatre consonnes antérieures /v, f, b, p/. Les 12 consonnes étudiées sont classées dans le Tableau 20.

Mode		Lieu					Voisement			
		Labial		Lingual						
		Labial	Dental	Apical		Dorsal				
				Alvéolaire	Post-alvéolaire	Vélaire				
Occlusive	6	Total	2	2	4	2	2	Total	3	
		p		t		k		Non voisée		
	b		d		g		Voisée			
	6	Fricative		f	s	ʃ		3		Non voisée
				v	z	ʒ		3		Voisée
	Total		4	4	4	4	12			
		Antérieure		Médiane	Postérieure		Classe			

Total des consonnes non voisées : 6 ; voisées : 6

Tableau 20 : classement des consonnes orales du français étudiées, en fonction de leur voisement, de leur mode et de leur lieu articulatoire

Dans la plupart des expériences, nous avons étudié les différentes consonnes en position postvocalique, pré-vocalique ou intervocaliques. Pour ce faire, nous avons placé les consonnes dans des syllabes simples directes (consonne-voyelle : #CV) et indirectes (voyelle-consonne : VC#) ou dans des logatomes dissyllabiques simples (voyelle-consonne-voyelle : VCV). Dans les expériences n°1 et n°3, par curiosité, nous avons également étudié les consonnes isolées (#C#). Dans l'expérience n°4, nous avons placé les quatre consonnes étudiées dans des trains de syllabes simples directes, c'est-à-dire dans des positions pseudo-intervocaliques (V-CV). Les différentes structures des items composés avec les consonnes sont présentées dans le Tableau 21.

² En français, la réalisation de ces consonnes apico-alvéolaires /t, d, s, z/ est sujette à la variation interindividuelle. En particulier, les occlusives /t, d/ peuvent être réalisées de manière apico-alvéo-dentales. Cependant, dans nos expériences, nous avons exclu tous les participants présentant un syngmatisme avec une articulation dentale de ces consonnes. Nous les considérons donc toutes, occlusives et fricatives, comme apico-alvéolaires.

	Structure			
	Logatome dissyllabique simple	Syllabe simple		Consonne isolée
		Directe	Indirecte	
Composition	Voyelle-Consonne-Voyelle	Consonne-Voyelle	Voyelle-Consonne	Consonne
Représentation	VCV	#CV	VC#	#C#
Position	Médiale et intervocalique	Initiale et pré-vocalique	Finale et postvocalique	Isolée

Symboles : consonne (C) ; voyelle (V) ; silence (#).

Tableau 21 : classement des structures étudiées en fonction de la position de la consonne

Pour les participants témoins, nous avons assemblé les items par paires dans les expériences de perception, mais non dans les expériences de production. Etant donné le caractère exploratoire de ces expériences, nous avons fait varier systématiquement tous les paramètres consonantiques et nous avons répété les observations. En revanche, pour les patients, nous avons restreint le nombre des paramètres étudiés et des observations réalisées. Nous présentons cette expérience clinique, qui portait simultanément sur la production et la perception, dans la section « perception » car elle comportait des items associés par paires, comme dans les expériences exploratoires.

5.2.1.1. En perception

Dans toutes les expériences de perception, les items étaient opposés par paires en fonction d'un seul paramètre consonantique. Nous avons étudié quatre paramètres, qui concernaient soit la structure dans laquelle était placée la consonne, soit l'un de ses trois paramètres articulatoires, à savoir le voisement, le mode ou le lieu articulatoire. Nous rappelons que, dans les oppositions portant sur le mode articulatoire de la consonne, le lieu articulatoire variait également pour les consonnes antérieures, entre les occlusives bilabiales et les fricatives labiodentales, et pour les consonnes postérieures, entre les fricatives apico-post-alvéolaires et les occlusives dorso-vélaires. Chaque paire était présentée à deux reprises, soit avec une variation de l'ordre des items dans la paire, pour les expériences d'auto-perception n°1 et n°2, soit avec une variation de la voix perçue dans la paire, pour l'expérience d'hétéro-perception n°3.

5.2.1.1.1. Expérience n°1

Dans l'expérience n°1 d'auto-perception de l'effort dans la parole modale, menée auprès des participants témoins, nous avons étudié 48 items au total. Nous avons formé ces items en associant chacune des 12 consonnes /f, v, s, z, ʃ, ʒ, p, b, t, d, k, g/ à chacune des quatre structures #CV, VCV,

VC# et #C#. Nous avons opposé ces items par paires en fonction, soit de leur structure, soit de leur consonne. Nous avons donc formé, pour chaque consonne, six sortes d'opposition de structure, créant ainsi 72 paires différentes. Chaque structure étudiée apparaissait alors dans une paire sur deux. En ce qui concerne les oppositions de consonnes, nous avons formé, pour chaque structure, une opposition de voisement, créant ainsi 24 paires différentes, ainsi qu'une opposition de mode articulaire, créant aussi ainsi 24 paires différentes. Enfin, nous avons formé trois sortes d'oppositions de lieu articulaire, créant ainsi 48 paires différentes. Chaque lieu articulaire étudié apparaissait alors dans deux paires sur trois. A noter que, dans ces conditions, une consonne n'était pas opposée de manière systématique à toutes les autres. Par exemple, la consonne /v/ formait des paires avec seulement quatre autres consonnes : la consonne /f/ pour les oppositions de voisement, la consonne /b/ pour les oppositions de mode articulaire et les consonnes /z/ et /ʒ/ pour les oppositions de lieu articulaire. Chaque consonne étudiée apparaissait donc dans une paire sur six. Enfin, chaque item étudié apparaissait dans une paire sur 24. Nous avons présenté chacune de ces 168 paires originales deux fois, dans l'ordre item₁-item₂ et dans l'ordre inverse item₂-item₁. La constitution des 336 paires, avec les oppositions présentées dans l'ordre item₁-item₂, est résumée dans le Tableau 22. Dans cette expérience en parole modale, lorsque nous excluons les consonnes isolées pour ne considérer que les trois structures #CV, VCV et VC#, les paires d'items sont comparables à celles utilisées dans l'expérience n°2 en parole chuchotée.

	Item (48)			
	Structure (6)	Consonne (12)		
		Voisement (2)	Mode (2)	Lieu (3)
Oppositions	VCV-VC# VCV-#CV VC#-#CV VCV-#C# VC#-#C# #C#-#CV	Voisée-non voisée	Fricative-occlusive	Antérieure-médiane Antérieure-postérieure Médiane-postérieure
Variations	Voisement*mode*lieu (12)	Structure*mode*lieu (24)	Structure*voisement*lieu (24)	Structure*voisement*mode (16)
Ordres (2)	Item ₁ -item ₂ /item ₂ -item ₁			
Paires	6*12*2 (144)	1*24*2 (48)	1*24*2 (48)	3*16*2 (96)
Apparitions	1/2 (72)	1 (48)	1 (48) 1/6 (32)	2/3 (64)
		1/24 (14)		

Tableau 22 : constitution des 336 paires d'items de l'expérience n°1 (avec consonnes isolées)

Nous avons transcrit les items à l'aide des symboles de l'Alphabet Phonétique International (IPA) afin de contrôler le nombre de graphèmes dans les items. Notamment, nous avons remplacé la graphie complexe « ss » par le symbole simple « s » et la graphie complexe « ch » par le symbole simple « ʃ », mais nous avons aussi, par soucis de cohérence, remplacé la graphie simple « j » par le symbole simple « ʒ ». Nous avons donc introduit une différence au niveau de la complexité linguistique pour toutes les oppositions de consonne avec /s/, dans la structure VCV, et pour les oppositions de mode et de lieu articulaire de la consonne avec /ʃ/ ou /ʒ/, dans toutes les structures.

5.2.1.1.2. Expérience n°2

	Item (36)			
	Structure (3)	Voisement (2)	Mode (2)	Lieu (3)
Oppositions	VCV-VC# VCV-#CV VC#-#CV	Voisée-non voisée	Fricative-occlusive	Antérieure-médiane Antérieure-postérieure Médiane-postérieure
Variations	Voisement*mode*lieu (12)	Structure*mode*lieu (18)	Structure*voisement*lieu (18)	Structure*voisement*mode (12)
Ordres (2)	Item ₁ -item ₂ /item ₂ -item ₁			
Paires	3*12*2 (72)	1*18*2 (36)	1*18*2 (36)	3*12*2 (72)
Apparitions	2/3 (48)	1 (36)	1 (36) 1/6 (24)	2/3 (48)
			1/18 (12)	

Tableau 23 : constitution des 216 paires d'items des expériences n°1 et n°2 (sans consonnes isolées)

Dans l'expérience n°2 d'auto-perception de l'effort en parole chuchotée, menée auprès des participants témoins, nous avons étudié 36 items au total. Nous avons formé ces items en associant chacune des 12 consonnes /f, v, s, z, ʃ, ʒ, p, b, t, d, k, g/ à chacune des trois structures #CV, VCV et VC#. Nous n'avons pas étudié les consonnes isolées car il ne nous semblait pas envisageable de les produire en chuchotant. Les items étaient là encore opposés en fonction de leur structure ou de leur consonne. Nous avons donc formé, pour chaque consonne, trois sortes d'opposition de structure, créant ainsi 36 paires différentes. Chaque structure étudiée apparaissait alors dans deux paires sur trois. En ce qui concerne les oppositions de consonne, nous avons formé, pour chaque structure, une opposition de voisement, créant ainsi 18 paires différentes, ainsi qu'une opposition de mode articulaire, créant également ainsi 18 paires différentes. Enfin, nous avons formé trois sortes d'oppositions de lieu articulaire, créant ainsi 36 paires différentes. De nouveau, chaque lieu articulaire étudié apparaissait alors dans deux paires sur trois. Chaque consonne étudiée

apparaissait donc toujours dans une paire sur six. En revanche, chaque item étudié apparaissait dans une paire sur 18. Nous avons présenté chacune de ces 108 paires originales deux fois, dans un ordre et l'ordre inverse, comme dans l'expérience n°1 en parole modale. Les items étaient également transcrits de la même façon que dans la première expérience, à savoir phonétiquement. La constitution des 216 paires, avec les oppositions présentées dans l'ordre item₁-item₂, est résumée dans le Tableau 23. Ce tableau permet également de visualiser la constitution des paires d'items dans l'expérience n°1 en parole modale, lorsque nous excluons les consonnes isolées.

5.2.1.1.3. Expérience n°3

Dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception de l'effort en parole modale, menée auprès des participants témoins, nous avons étudié 48 items au total. Nous avons formé les items et les paires comme dans l'expérience n°1 d'auto-perception. Ici, toutes les paires étaient présentées deux fois, pour les femmes avec la voix du locuteur **a** ou la voix du locuteur **b** et pour les hommes avec la voix du locuteur **z** ou la voix du locuteur **y**, mais toujours dans le même ordre (item₁-item₂). Nous avons enregistré la production isolée de chacun des 48 items par chacun des quatre locuteurs, selon une méthode que nous décrivons plus bas. Nous avons ensuite formé les 168 paires pour chaque voix. La constitution des 336 paires d'items, pour les femmes ou pour les hommes, est présentée dans le Tableau 24. Par ailleurs, la constitution des 216 paires d'items, dans le cas où nous excluons les consonnes isolées, est présentée dans le Tableau 25.

	Item (48)			
	Structure (6)	Voisement (2)	Consonne (12) Mode (2)	Lieu (3)
Oppositions	VCV-VC# VCV-#CV VC#-#CV VCV-#C# VC#-#C# #C#-#CV	Voisée-non voisée	Fricative-occlusive	Antérieure-médiane Antérieure-postérieure Médiane-postérieure
Variations	Voisement*mode*lieu (12)	Structure*mode*lieu (24)	Structure*voisement*lieu (24)	Structure*voisement*mode (16)
Voix perçue (2)	a/b (femmes) ou z/y (hommes)			
Paires	6*12*2 (144)	1*24*2 (48)	1*24*2 (48)	3*16*2 (96)
Apparitions	1/2 (72)	1 (48)	1 (48) 1/6 (32)	2/3 (64)
		1/24 (14)		

Tableau 24 : constitution des 336 paires d'items de l'expérience n°3 (avec consonnes isolées)

	Item (36)			
	Structure (3)	Voisement (2)	Consonne (12) Mode (2)	Lieu (3)
Oppositions	VCV-VC# VCV-#CV VC#-#CV	Voisée-non voisée	Fricative-occlusive	Antérieure-médiane Antérieure-postérieure Médiane-postérieure
Variations	Voisement*mode*lieu (12)	Structure*mode*lieu (18)	Structure*voisement*lieu (18)	Structure*voisement*mode (12)
Ordres (2)	a/b (femmes) ou z/y (hommes)			
Paires	3*12*2 (72)	1*18*2 (36)	1*18*2 (36)	3*12*2 (72)
Apparitions	2/3 (48)	1 (36)	1 (36) 1/6 (24)	2/3 (48)
		1/18 (12)		

Tableau 25 : constitution des 216 paires d'items de l'expérience n°3 (sans consonnes isolées)

5.2.1.1.4. Expérience n°6

Dans l'expérience n°6, chez les patients, nous n'avons pas inclus les consonnes isolées en raison de leur aspect peu écologique, nous avons donc étudié 36 items au total. Nous avons formé ces items en associant chacune des 12 consonnes /f, v, s, z, ʃ, ʒ, p, b, t, d, k, g/ à chacune des trois structures #CV, VCV et VC#. Puisque nous souhaitions limiter les paramètres étudiés, les items étaient donc seulement opposés en fonction du voisement de la consonne, créant ainsi 18 paires différentes. Les paires étaient présentées deux fois, dans l'ordre item₁-item₂ (voisée-non voisée) et dans l'ordre inverse item₂-item₁. Nous avons alors étudié 36 paires d'items, ce qui signifie que chaque item était produit deux fois. Pour des raisons pratiques, nous avons transcrit les items de manière orthographique. Les graphies complexes « ch » et « ss » étaient donc opposées à des graphies simples dans les paires « ja – cha », « aja – acha », « aj – ach » et « aza – assa ». Nous avons aussi inclus 12 paires de distracteurs, formées avec les oppositions de consonnes /m, n, l, r/. Les patients devaient donc lire un total de 48 paires d'items.

5.2.1.2. En production

Dans les deux expériences de production, nous n'avons pas opposé les items deux à deux. En revanche, nous avons répété ces items, de trois à 24 fois. A noter que, dans l'expérience clinique n°6, que nous avons présentée plus haut, chaque item étudié apparaissait deux fois.

5.2.1.2.1. Expérience n°4

Dans l'expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques, menée auprès des participants témoins, en raison de contraintes techniques, nous n'avons étudié que les quatre consonnes antérieures /f, v, p, b/. En effet, le positionnement d'une sonde intra-buccale limitait les mouvements linguaux. Nous avons placé ces quatre consonnes au centre de trains de huit syllabes directes, dans un ordre randomisé suivant des carrés latins, formant 24 trains de syllabes, comme présenté dans le Tableau 26.

		Consonnes							
		Non étudiées		Étudiées				Non étudiées	
Carré latin	1	f	v	p	b	f	v	p	b
		v	p	b	f	v	p	b	f
		p	b	f	v	p	b	f	v
		b	f	v	p	b	f	v	p
	2	v	f	p	b	v	f	p	b
		f	p	b	v	f	p	b	v
		p	b	v	f	p	b	v	f
		b	v	f	p	b	v	f	p
	3	b	v	p	f	b	v	p	f
		v	p	f	b	v	p	f	b
		p	f	b	v	p	f	b	v
		f	b	v	p	f	b	v	p
	4	v	b	p	f	v	b	p	f
		b	p	f	v	b	p	f	v
		p	f	v	b	p	f	v	b
		f	v	b	p	f	v	b	p
	5	b	f	p	v	b	f	p	v
		f	p	v	b	f	p	v	b
		p	v	b	f	p	v	b	f
		v	b	f	p	v	b	f	p
	6	f	b	p	v	f	b	p	v
		b	p	v	f	b	p	v	f
		p	v	f	b	p	v	f	b
		v	f	b	p	v	f	b	p

Tableau 26 : constitution des 24 trains de huit syllabes de l'expérience n°4

Chaque consonne, au centre des trains de syllabes, était donc répétée 24 fois pour chacun des types de parole, présentés plus bas. Tous les phonèmes étaient transcrits orthographiquement avec des graphèmes simples de l'alphabet français, qui ne sont pas différents des symboles de

l'Alphabet Phonétique International (IPA). Cependant, la répétition des consonnes dans les trains de syllabes et la longueur de ces trains, par exemple « pabafavapabafava », pouvaient entraîner des difficultés de lecture et il n'était pas rare qu'une syllabe sur les huit soit omise pendant la production.

5.2.1.2.2. Expérience n°5

Dans l'expérience n°5 de production avec seulement des mesures acoustiques, menée auprès des participants témoins, nous avons étudié 36 items au total. Nous avons formé ces items en associant chacune des 12 consonnes /f, v, s, z, ʃ, ʒ, p, b, t, d, k, g/ à chacune des trois structures #CV, VCV et VC#. Etant donné que cette expérience n'impliquait pas un jugement linguistique de la part des participants, nous n'avons pas estimé nécessaire de contrôler le nombre de graphèmes. Nous avons donc transcrit les items orthographiquement. Chaque item était répété trois fois dans chacun des types de parole, que nous détaillons plus bas.

5.2.2. Types de parole et de voix

Nous avons étudié différents types de parole en fonction de la phonation, c'est-à-dire de la vibration glottique. D'abord, nous avons comparé l'absence de vibration (friction), dans la parole chuchotée, et la présence de vibration, dans la parole vocale, qui était alors modale et usuelle. Pour rappel, la phonation est considérée comme modale lorsque la vibration est périodique. Nous considérons la voix usuelle en l'absence de consigne sur la manière de la produire. Ensuite, nous avons comparé la vibration apériodique pour laquelle la fréquence des pulsations glottiques est très basse, dans la parole vocale basale, et la vibration périodique dans la parole vocale modale. Enfin, nous avons comparé des modes de vibrations périodiques, entre la parole modale vocale usuelle et inusuelle, c'est-à-dire contrôlée au niveau de l'intensité donc de l'amplitude de vibration, de la hauteur donc de la vitesse de vibration et de la qualité donc du contact des plis vocaux pendant la vibration. Les types de parole explorés dans chacune des six expériences sont récapitulés dans le Tableau 27.

Dans les expériences exploratoires, nous avons effectué des comparaisons de types de parole dans chacune des deux expériences de production : les mêmes participants témoins produisaient le même matériel phonétique plusieurs fois. En revanche, chacune des expériences de perception

portait sur un seul type de parole. Ces expériences de perception présentaient néanmoins des points de comparaison. De plus, certains participants témoins ont pris part à plusieurs expériences de perception. Pour les patients, nous n’avons pas fait varier le type de parole : ils la produisaient de façon usuelle. Nous présentons cette expérience clinique, associant simultanément la production et la perception, dans la section « perception » puisqu’elle portait sur un seul type de parole.

		Parole			
		Vocale		Chuchotée	
		Modale	Basale		
Parole	Usuelle	Expériences n°1, n°2, n°4, n°5 et n°6	Expérience n°4	Expériences n°2 et n°4	
	Contrôlée	Intensité	Faible	Expérience n°4	–
			Forte	Expérience n°4	–
	Hauteur	Grave	Expérience n°4	–	–
		Aigüe	Expérience n°4 et n°5	–	–
	Qualité	Soufflée	Expérience n°4	–	–
		Pressée	Expérience n°4	–	–

Tableau 27 : types de parole et de voix étudiés dans les six expériences

5.2.2.1. En perception

Nous avons étudié un type de parole pour chaque expérience de perception : la parole vocale modale usuelle (« modale ») pour les expériences exploratoires n°1 et n°3, ainsi que pour l’expérience clinique n°6, et la parole chuchotée usuelle (« chuchotée ») pour l’expérience exploratoire n°2. Dans tous les cas, il s’agissait de parole usuelle. Par ailleurs, pour les expériences exploratoires, nous avons aussi fait varier le canal de perception : il s’agissait d’auto-perception, c’est-à-dire de proprioception, de kinesthésie et d’audition, dans les expériences n°1 et n°2 et d’hétéro-perception, c’est-à-dire d’audition seule, dans l’expérience n°3. Le type de perception et de production de la parole pour chaque expérience est indiqué dans le Tableau 28.

		Parole		Total
		Modale	Chuchotée	
Perception	Auto	Expériences n°1 et n°6	Expérience n°2	3
	Hétéro	Expérience n°3	–	1
<i>Total</i>		3	1	4

Tableau 28 : types de parole étudiés et modalités de perception dans les expériences n°1, n°2 et n°3

5.2.2.1.1. Expérience n°1

L'expérience n°1 d'auto-perception de l'effort, menée auprès des participants témoins, était réalisée en parole vocale modale usuelle, que nous appelons « modale ». Dans les faits, nous avons simplement demandé aux participants de « lire à voix haute », sans leur donner d'indications supplémentaires. Puisque nous avons exclu tous les participants qui présentaient un trouble de la voix perceptible, il est probable que les participants inclus aient effectivement produit une voix modale, correspondant à une vibration périodique des plis vocaux.

5.2.2.1.2. Expérience n°2

L'expérience n°2 d'auto-perception de l'effort, menée auprès des participants témoins, était réalisée en parole chuchotée usuelle, que nous appelons « chuchotée ». Nous avons simplement demandé aux participants de « lire en chuchotant », sans leur donner d'indications supplémentaires non plus. Au cours des passations, il nous a semblé que les productions étaient bien toutes réalisées avec une friction glottique, sans vibration des plis vocaux.

5.2.2.1.3. Expérience n°3

L'expérience n°3 d'hétéro-perception de l'effort, menée auprès des participants témoins, était réalisée en parole vocale modale usuelle, comme la première expérience. Pour la création des stimuli, nous avons demandé aux locuteurs de lire les items « à voix haute », sans autre indication. Cependant, perceptivement, nous jugeons que certaines voix, notamment de l'homme **z**, avaient pu être produites avec une vibration des plis vocaux non périodique, donc non modale.

5.2.2.1.4. Expérience n°6

L'expérience n°6, menée auprès des patients dysphoniques, était réalisée en parole vocale modale usuelle. Cependant, du fait de la dysphonie avérée de plusieurs patients, certaines voix ont pu être produites avec une vibration des plis vocaux non périodique, donc non modale. Notamment, nous avons observé un mécanisme de vibration supra-périodique chez différents patients.

5.2.2.2. En production

Dans les expériences de production, les participants réalisaient la même tâche plusieurs fois, en modifiant leur parole ou leur voix. Cependant, ils réalisaient toujours la parole vocale modale usuelle (« usuelle ») en premier.

5.2.2.2.1. Expérience n°4

Dans l'expérience n°4 avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques, nous avons comparé la parole vocale modale usuelle, que nous appelons « usuelle » et huit autres types de parole ou de voix. Après avoir demandé aux participants de « lire à voix haute » pour obtenir la parole et la voix usuelles, nous leur avons demandé de « produire une voix plus grave que leur voix usuelle », « une voix plus aigüe », « une voix plus faible ou plus douce », « une voix plus forte », « une voix plus soufflée, comme dans la séduction » et « une voix plus pressée, comme dans l'énervement », ensuite de « produire une voix extrêmement grave, comme le grincement d'une porte » et, enfin, de « lire en chuchotant ». Pour les productions en parole vocale, exceptée pour la production usuelle, nous avons réalisé des démonstrations. A noter que deux participants ne réussissaient pas à produire la parole vocale basale ou *fry* (extrêmement grave). Par ailleurs, il est difficile de déterminer si toutes les productions en parole vocale modale ont été réalisées dans le mécanisme 1 de phonation, usuel dans la parole, et non dans le mécanisme 2, notamment pour la production de la voix aigüe.

5.2.2.2.2. Expérience n°5

Dans l'expérience n°5 de production avec des mesures acoustiques uniquement, nous avons comparé la production de parole vocale modale usuelle, que nous appelons « usuelle », avec une production de parole vocale modale contrôlée, en faisant varier la hauteur de la voix vers l'aigu. Nous avons d'abord demandé aux participants de « lire à voix haute », sans autre indication, puis nous leur avons demandé de « lire avec une voix plus aigüe ». Cependant, il est, là encore, difficile de déterminer si toutes les productions ont été réalisées avec le même mécanisme de phonation.

	Expérience					
	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6
Items	2 voisements * 2 modes * 3 lieux = 12 consonnes * 4 positions = 48 items	2 voisements * 2 modes * 3 lieux = 12 consonnes * 3 positions = 36 items	2 voisements * 2 modes * 3 lieux = 12 consonnes * 4 positions = 48 items	2 voisements * 2 modes * 1 lieu (antérieur) = 4 consonnes * 1 position (CV) = 4 items	2 voisements * 2 modes * 3 lieux = 12 consonnes * 3 positions = 36 items	2 voisements * 2 modes * 3 lieux = 12 consonnes * 3 positions = 36 items
Matériels	Items opposés 72 (position) + 24 (voisement) + 24 (mode) + 48 (lieu) = 168 paires * 2 ordres = 336 paires	Items opposés 36 (position) + 18 (voisement) + 18 (mode) + 36 (lieu) = 108 paires * 2 ordres = 216 paires	Items opposés 72 (position) + 24 (voisement) + 24 (mode) + 48 (lieu) = 168 paires * 2 voix = 336 paires	Trains de syllabes * 24 répétitions = 96 items	Items isolés * 3 répétitions = 108 items	Items opposés 18 (voisement) * 2 ordres = 36 paires
Autres	–	–	–	–	[+ 3 textes] [+ 72 phrases] [+ 71 mots]	+ 12 distracteurs = 48 paires
Parole	* 1 type (modale vocale usuelle)	* 1 type (chuchotée usuelle)	* 1 type (modale vocale usuelle)	* 9 types (vocale modale : usuelle, faible, forte, grave, aigüe, soufflée, pressée ; + vocale basale ; + chuchotée usuelle)	* 2 types (vocale modale : usuelle, aigüe)	* 1 type (modale vocale usuelle)
Perception	3 canaux (proprioceptif, kinesthésique, auditif)	3 canaux (proprioceptif, kinesthésique, auditif)	1 canal (auditif)	–	–	3 canaux (proprioceptif, kinesthésique, auditif)
Présentation	Visuel (papier), aléatoire variable, phonétique	Visuel (papier), aléatoire variable, phonétique	Auditif (casque) aléatoire variable Création stimuli : visuel (écran), aléatoire variable, orthographique	Visuel (écran), aléatoire variable, orthographique ou phonétique	Visuel (écran), aléatoire variable, orthographique	Visuel (papier), aléatoire fixe, orthographique

Tableau 29 : récapitulatif du matériel linguistique utilisé dans les six expériences

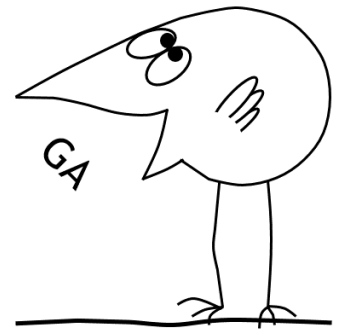
5.3. Méthode

Dans les expériences exploratoires que nous avons menées auprès des participants témoins, nous avons dissocié la perception de la production. Au contraire, nous avons mené simultanément une expérience de production et de perception auprès de patients dysphoniques. Ces expériences différaient notamment en ce qui concerne la nature des données collectées mais aussi leur nombre. Pour l'analyse de ces données, nous avons donc choisi de traiter les participants témoins comme un groupe homogène et les patients comme des cas.

5.3.1. Recueil des données

Les expériences de perception n°1, n°2 et n°3 ont été réalisées en divers endroits, dans des pièces calmes, où le participant et nous étions seuls. En effet, ces expériences ne comportaient pas d'enregistrements acoustiques de la parole. En revanche, les expériences de production n°4 et n°5, avec les participants témoins, ont été réalisées dans la chambre sourde du Laboratoire Parole et Langage (LPL), à Aix-en-Provence. Enfin, l'expérience n°6, avec les patients, a été réalisée dans une pièce calme de l'Hôpital de Marne-la-Vallée, à Jossigny. En effet, nous avons conduit cette expérience clinique au cours de consultations orthophoniques et nous ne disposions pas alors d'une pièce insonorisée. Au début de chacune des six expériences, nous avons réalisé un entretien oral avec le participant afin de récolter les données individuelles que nous avons présentées plus haut. Avant chaque expérience, les sujets témoins ont signé un consentement éclairé. Les procédures des différentes expériences sont résumées dans le Tableau 34, page 123.

5.3.1.1. Auto-perception



3

Les expériences n°1 et n°2 d'auto-perception de l'effort dans la parole étaient de type papier-crayon et consistaient à juger de sa propre production. Dans ces deux expériences, les items étaient transcrits par des symboles simples de l'Alphabet Phonétique International (IPA). Puisque les participants témoins ne disposaient pas de connaissances particulières en phonétique, nous les

³ Illustration inspirée de la série télévisée d'animation française « Les Shadoks », créée par Jacques Rouxel, produite par la société Animation Art-Graphique Audiovisuel (AAA) et diffusée pour la première fois le 29 avril 1968 sur Canal+.

soumettions d’abord à une session d’apprentissage pour la lecture de ces symboles. Nous leur présentions les 13 symboles utilisés, pour les 12 consonnes et l’unique voyelle, illustrés par des exemples de prononciation, comme indiqué dans le Tableau 30. Les participants pouvaient étudier ce tableau aussi longtemps qu’ils le souhaitaient. Nous les soumettions ensuite à une session d’entraînement à la lecture des items étudiés dans chaque expérience. Enfin, nous réalisons la passation proprement dite. Il s’agissait alors de lire chaque paire d’item et d’entourer l’un des deux à l’aide d’un crayon. De manière générale, les paires d’items étaient réparties sur plusieurs feuilles de papier. Un temps de repos de quelques minutes était aménagé entre la complétion de deux feuilles consécutives. La durée de complétion de chaque feuille n’était pas limitée mais elle était mesurée à l’aide d’un chronomètre. Nous décrivons plus bas les particularités de ces deux expériences en termes de parole produite, de consigne donnée et de présentation des paires d’items.

Symbole	Exemple n°1	Exemple n°2	Exemple n°3
b	<u>b</u> al	–	–
s	sour <u>s</u>	pièce	pass <u>e</u>
k	car <u>p</u> e	<u>k</u> iwi	<u>q</u> ui
d	<u>d</u> ate	–	–
f	<u>f</u> ace	ph <u>a</u> re	–
g	g <u>a</u> re	bag <u>u</u> e	–
ʒ	journal	gor <u>g</u> e	–
p	pet <u>i</u> t	–	–
t	<u>t</u> ordu	–	–
v	<u>v</u> oir	wag <u>o</u> n	–
z	z <u>è</u> bre	os <u>er</u>	–
ʃ	<u>ch</u> at	<u>sh</u> ort	–
a	pat <u>t</u> e	–	–

Tableau 30 : présentation des symboles phonétiques dans les expériences n°1 et n°2 (apprentissage)

Chaque participant complétait la tâche d’auto-perception seul, mais sous notre surveillance. Au cours des passations, nous nous permettions d’intervenir pour corriger la production de parole si celle-ci dérogeait à la consigne, notamment lorsque les participants produisaient un item ou une paire d’items en chuchotant dans l’expérience n°1 en parole modale ou, inversement, à voix haute dans l’expérience n°2 en parole chuchotée. Nous leur demandions alors, à chaque fois, de répéter correctement la paire d’items avant d’effectuer leur jugement perceptif. En revanche, nous ne corrigeons pas les productions inusuelles puisque, avant d’opérer leur jugement, les participants répétaient presque toujours les paires d’items en modifiant au moins l’un des paramètres suivants :

l'intensité sonore, la hauteur de la voix, la qualité vocale ou la durée des phonèmes. De même, nous ne corrigions pas l'ordre de production des items dans les paires car les participants montraient une forte tendance à les répéter dans l'ordre inverse avant de répondre. Parfois même, ils répétaient plusieurs fois les deux items d'une même paire indépendamment l'un de l'autre.

Par ailleurs, les participants pouvaient exprimer des erreurs de jugement, que nous avons comptabilisées lorsqu'elles laissaient une trace écrite, puis ils se corrigeaient. Typiquement, ils entouraient un item dans une paire puis se ravisait, raturait et entourait l'autre item. Les participants faisaient aussi parfois des commentaires vis-à-vis de la tâche. Ils pouvaient notamment exprimer leur confusion parce qu'ils ne percevaient pas de différence entre les items ou parce qu'ils avaient l'impression de se contredire entre des paires similaires. Certains exprimaient aussi leurs sensations, en particulier désagréables, lors de la prononciation d'une consonne, comme une impression de vibration pour la consonne /z/ ou une impression de haut-le-cœur pour la consonne /g/. Enfin, les participants se sont souvent plaints de la longueur temporelle de la tâche.

5.3.1.1.1. Expérience n°1

Pour cette expérience, après l'entretien oral préalable avec les participants, nous leur avons demandé de compléter deux questionnaires de qualité de vie relatifs à la voix, dont le *Voice Handicap Index* (VHI) (Jacobson et al., 1997). Le second questionnaire correspondait à une version encore non validée en français du *Voice Symptom Scale* (VoiSS) (J. A. Wilson et al., 2004). La complétion du VHI durait en moyenne deux minutes et 53 secondes (s), avec un écart-type de 44s, et celle du VoiSS deux minutes et 19s, avec un écart-type de 38s.

L'expérience n°1 d'auto-perception de l'effort dans la parole était réalisée en parole vocale modale usuelle et comportait 48 items différents. Lors de la session d'entraînement, nous avons demandé aux participants témoins de lire à voix haute tous les items présentés dans le Tableau 31. Nous corrigions leur production si nécessaire, notamment pour le symbole « s » en position intervocalique qu'ils avaient tendance à régulariser en consonne /z/, selon la règle de prononciation française. Nous portions aussi leur attention sur la production des consonnes isolées #C# ou finales VC#, afin d'éviter l'ajout d'un schwa post-consonantique. Lorsque nous jugions que la production de tous les items était réalisée correctement, nous entamions la passation. Au cours de la passation, nous intervenions encore pour corriger les erreurs de prononciation liées au code phonétique.

b	ba	ab	aba
s	sa	as	asa
k	ka	ak	aka
d	da	ad	ada
f	fa	af	afa
g	ga	ag	aga
ʒ	ʒa	aʒ	aʒa
p	pa	ap	apa
t	ta	at	ata
v	va	av	ava
z	za	az	aza
ʃ	ʃa	aʃ	aʃa

Tableau 31 : présentation des 48 items transcrits avec les symboles phonétiques dans l'expérience n°1
(entraînement)

Dans cette expérience, les participants témoins devaient produire chacune des 336 paires d'items étudiées à voix haute, en marquant une pause silencieuse entre les deux items, puis choisir l'un des deux items en fonction de la consigne donnée. Nous avons fait varier la consigne afin d'observer si celle-ci avaient une influence sur les réponses des participants. Pour la moitié des 96 participants, la consigne était d'indiquer l'item qu'ils percevaient comme le plus facile à produire dans la paire et, pour l'autre moitié, au contraire, d'indiquer celui qu'ils percevaient comme le plus difficile. Les paires d'items étaient réparties dans un ordre aléatoire, différent pour chaque participant, sur quatre feuilles de papier, en quatre colonnes et 21 lignes, soit 84 paires d'items par feuille.

Nous notons que la complétion de la première page était la plus lente et durait, en moyenne, huit minutes et 54 secondes, tandis que la complétion de la dernière page était la plus rapide et durait, en moyenne, six minutes et 17 secondes (s). Selon les participants, la passation complète, sans compter les temps de pause, pouvait durer entre un quart d'heure et une heure environ, avec une moyenne de 28 minutes et 52s et un écart-type de six minutes et 33s. Par ailleurs, les participants faisaient en moyenne une erreur de plus lorsqu'il s'agissait d'indiquer l'item le plus difficile, avec une moyenne de 1,6 erreurs, que lorsqu'il s'agissait d'indiquer le plus facile.

5.3.1.1.2. Expérience n°2

L'expérience n°2 d'auto-perception de l'effort était réalisée en parole chuchotée usuelle et comportait 36 items différents. Lors de la session d'entraînement, nous avons demandé aux

participants témoins de lire en chuchotant tous les items présentés dans le Tableau 32. Comme dans la première expérience, nous corrigions leur production si nécessaire puis, lorsque nous jugions que la production de tous les items était réalisée correctement, nous entamions la passation. Au cours de la passation cependant, il était difficile de corriger certaines erreurs de prononciation liées au code phonétique, comme pour le voisement de la consonne /s/ en position intervocalique.

Dans cette expérience, les participants témoins devaient produire chacune des 216 paires d'items en chuchotant, en marquant là encore une pause silencieuse entre les deux items, puis indiquer celui qu'ils percevaient comme le plus facile à produire dans la paire. Les paires d'items étaient réparties dans un ordre aléatoire, différent pour chaque participant, sur trois feuilles de papier, en trois colonnes et 24 lignes, soit 72 paires d'items par feuille.

ba	ab	aba
sa	as	asa
ka	ak	aka
da	ad	ada
fa	af	afa
ga	ag	aga
ʒa	aʒ	aʒa
pa	ap	apa
ta	at	ata
va	av	ava
za	az	aza
ʃa	aʃ	aʃa

Tableau 32 : présentation des 36 items transcrits avec les symboles phonétiques dans l'expérience n°2 (entraînement)

Nous notons que, comme c'était le cas dans l'expérience n°1 en parole modale, la complétion de la première page était la plus lente et durait, en moyenne, sept minutes et 28 secondes (s), tandis que la complétion de la dernière page était la plus rapide et durait, en moyenne, cinq minutes et 37s. Selon les participants, la passation complète, sans compter les temps de pause, pouvait durer entre 10 et 30 minutes environ, avec une moyenne de 18 minutes et 59s et un écart-type de quatre minutes et 22s. Seuls trois des 24 participants ont fait une erreur (rature).

5.3.1.2. Hétéro-perception : Expérience n°3

L'expérience d'hétéro-perception de l'effort dans la parole était de type acoustico-auditive et consistait à juger de la production de tierces personnes. Avant de réaliser cette expérience, nous avons créé les stimuli qui ont été présentés aux participants. Pour commencer, nous avons conçu les 48 items étudiés pour chacune des quatre voix : deux locuteurs féminins et deux locuteurs masculins. Nous avons tout d'abord réalisé des enregistrements acoustiques en chambre sourde, au sein du Laboratoire Parole et Langage (LPL), à Aix-en-Provence. Chacune des deux femmes, **a** et **b**, et chacun des deux hommes, **y** et **z**, ont lu à voix haute l'ensemble des 48 items, trois fois. Les 144 occurrences d'items étaient présentées visuellement, un par un et dans un ordre aléatoire différent pour chaque locuteurs, sur un écran d'ordinateur, grâce au logiciel Perceval. Nous rappelons que les items étaient transcrits de manière orthographique. Les locuteurs étaient assis sur une chaise à environ un mètre de l'écran. Nous avons enregistré le signal acoustique à l'aide d'un microphone dynamique ATR1200 (Audio-Technica, Japon) placé de biais à quelques centimètres de la bouche des locuteurs et relié, par un câble XLR à un préamplificateur Fireface Uc (RME, Allemagne), puis par un câble USB à un ordinateur, et grâce au logiciel Audacity. Nous avons ensuite sélectionné une occurrence non particulière de chacun des 48 items pour chaque voix. Enfin, nous avons découpé le fichier du signal acoustique en prenant soin de conserver au moins une seconde de silence avant et après l'item, grâce au logiciel Praat (Boersma & Weenink, 2014). Nous avons ainsi obtenu, pour chacune des quatre voix, 48 fichiers contenant le signal acoustique de chacun des 48 items étudiés. Pour terminer, pour chaque voix, nous avons formé les paires d'items opposés par un seul paramètre comme décrit plus haut. Pour cela, nous avons concaténé les items deux à deux, toujours grâce au logiciel Praat. Les 336 paires créées à partir des voix féminines étaient destinées aux femmes et les 336 créées à partir des voix masculines étaient destinées aux hommes.

L'expérience n°3 d'hétéro-perception de l'effort était réalisée en parole vocale modale usuelle et comportait 48 items différents, produit par deux locuteurs différents chez les femmes et deux autres locuteurs chez les hommes. Pendant la passation proprement dite de l'expérience n°3, les participants témoins étaient équipés d'un casque haute-définition 418 (Sennheiser, Allemagne) relié à l'ordinateur. Grâce au logiciel Perceval, le signal acoustique de chaque paire d'item était présentée auditivement, tandis que l'inscription « 1 – 2 » était présentée visuellement sur l'écran

de l'ordinateur. Les participants devaient écouter chaque paire d'item et indiquer celui qu'ils percevaient comme le plus difficile à produire pour le locuteur dans la paire, en appuyant sur la touche « 1 » du clavier d'ordinateur pour le premier item ou sur la touche « 2 » pour le second. Nous n'intervenions jamais au cours des passations. Par ailleurs, les participants ne disposaient d'aucun moyen de corriger leurs éventuelles erreurs car la pression d'une touche du clavier entraînait automatiquement le passage à la paire d'items suivante. Les 336 paires d'items étaient présentées dans un ordre aléatoire, différent pour chaque participant, au long de quatre sessions d'écoute comportant chacune 84 paires d'items. Un temps de repos de quelques minutes était aménagé entre la complétion de deux sessions d'écoute consécutives. Les temps de réponse étaient enregistrés automatiquement par le logiciel et permettaient de calculer la durée de complétion de chaque session. Les réponses données – « 1 » ou « 2 » – étaient également enregistrées automatiquement par le logiciel dans un fichier texte.

Bien que la durée de chaque session soit contrainte par le temps d'écoute des stimuli, nous notons de nouveau que la complétion de la première session était la plus lente et durait, en moyenne, neuf minutes et 45 secondes (s), tandis que la complétion de la dernière session était la plus rapide et durait, en moyenne, neuf minutes et 12s. Selon les participants, la passation complète, sans compter les temps de pause, pouvait durer entre 30 et 50 minutes environ, avec une moyenne de 37 minutes et 48s et un écart-type de trois minutes et 34s.

5.3.1.3. Production

Dans les deux expériences de production n°4 et n°5, menées auprès des participants témoins, les trains de syllabes ou les items isolés étaient présentés un par un, dans un ordre aléatoire différent pour chaque participant, sur un écran d'ordinateur grâce au logiciel Perceval. L'écran était placé à l'intérieur de la chambre sourde, en face des participants, à une distance d'environ un mètre. L'ensemble des items était enregistré plusieurs fois, d'abord en parole vocale modale usuelle, que nous appelons « usuelle », puis avec un ou plusieurs autres types de parole ou de voix. Un temps de repos de quelques minutes était aménagé entre la réalisation de deux enregistrements consécutifs.

5.3.1.3.1. Expérience n°4

L'expérience n°4 consistait en des enregistrements physiologiques, des enregistrements aérodynamiques et des enregistrements acoustiques simultanés de la production et comportait 24 trains de huit syllabes différents, c'est-à-dire 24 répétitions dans un ordre différent des quatre items étudiés. Dans cette expérience, nous avons utilisé le dispositif d'Evaluation Vocale Assistée II (EVA)⁴ qui permet de réaliser ces mesures physiques simultanément, grâce au logiciel Phonedit. Les participants étaient debout, face à la pièce à main du dispositif.

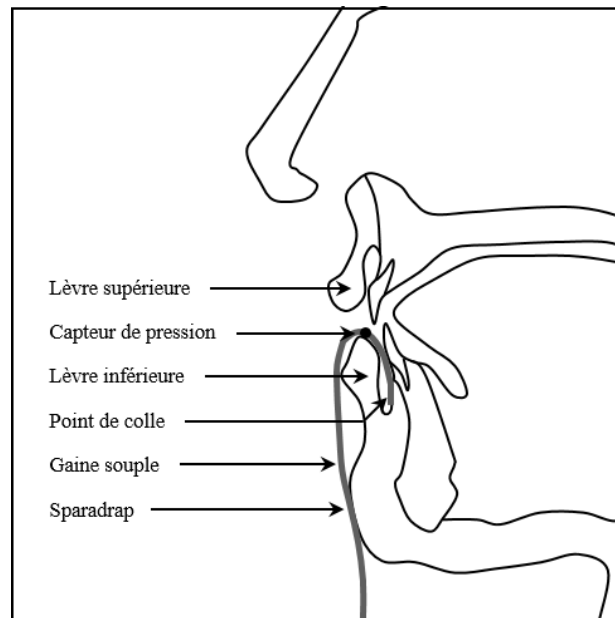


Figure 18 : équipement du participant pour la mesure de la pression mécanique de contact des articulateurs

En ce qui concerne les enregistrements physiologiques, d'une part, nous avons équipé les participants de deux électrodes de surface (Laryngograph Ltd., Royaume-Uni), placées au niveau des ailes de leur cartilage thyroïde et maintenues avec une bande de tissu attachée autour du cou à l'aide d'un scratch, afin de capter le signal en électroglottographie (EGG). Cependant, nous n'avons pas eu la possibilité d'exploiter ces enregistrements pendant la réalisation de notre thèse. D'autre part, nous les avons équipés d'un capteur de pression mécanique 105 (Precision Measurement Cie., MI, Etats-Unis), inséré dans une gaine souple de 2 millimètres de diamètre (Medtronic Xomed Inc., FL, Etats-Unis), qui était collée sur la gencive sous les incisives

⁴ Le dispositif EVA II est commercialisé par la société SQLab, soutien financier de la réalisation de cette thèse.

inférieures à l'aide de la colle Epiglu (Meyer-Hacke, Allemagne) et sur le menton à l'aide d'un sparadrap, et placé sur leur lèvre inférieure au niveau du point d'articulation des consonnes occlusives bilabiales et des consonnes fricatives labiodentales. Le bon placement du capteur dans la gaine était déterminé empiriquement avant le premier enregistrement. Le signal de ce capteur a été enregistré sur le canal auxiliaire du dispositif EVA⁵. L'équipement des participants, pour cet enregistrement physiologique seul, est schématisé sur la Figure 18.

En ce qui concerne les enregistrements aérodynamiques, d'une part, nous avons équipé les participants d'une sonde intra-buccale semi-rigide de 4 millimètres de diamètre (Eruplast, Allemagne), insérée par la commissure des lèvres jusqu'au milieu du palais, perpendiculairement au flux d'air, maintenue entre les dents et reliée à un transducteur de pression d'air intégré dans le dispositif EVA II, afin de capter la pression d'air sus-glottique ou intra-orale (IOP). D'autre part, nous les avons équipés d'un masque buccal en silicone, livré avec ce dispositif, afin de capter le débit du flux d'air trans-articulatoire (TAF). De plus, nous avons équipé les participants de pince-nez, pour éviter toute déperdition d'air par les cavités nasales.

Pour les enregistrements acoustiques, un microphone fixé sur la pièce à main du dispositif, derrière le masque buccal, permettait de capter le signal sonore. Ce microphone était situé à une distance fixe de la bouche des locuteurs, deux centimètres, pour tous les enregistrements et pendant toute leur durée. Le niveau de pression sonore (SPL), mesurant l'intensité, pouvait donc être étudié.

Les participants devaient produire chaque train de huit syllabes sur une seule expiration, sans marquer de pause silencieuse entre deux syllabes. Nous leur avons demandé de lire les 24 trains de syllabes, d'abord à voix haute, c'est-à-dire en parole vocale modale usuelle (« usuelle »), puis avec une voix plus grave que leur voix habituelle, plus aigüe, plus faible ou plus douce, plus forte, plus soufflée ou une voix de séduction, plus pressée ou une voix d'énervement, une voix extrêmement grave, c'est-à-dire en parole vocale basale ou *fr*y, et enfin en chuchotant, c'est-à-dire en parole chuchotée usuelle. Pour ces huit types de parole ou de voix contrôlées, nous réalisons un exemple.

Nous notons que, pour les neuf types de parole, la production de l'ensemble des 24 trains de syllabes durait en moyenne trois minutes et 15 secondes (s), avec un écart-type de 28s. Parmi les

⁵ L'adaptation du capteur a été réalisée par Thierry Legou, ingénieur de recherche au Laboratoire Parole et Langage.

12 participants témoins, deux des hommes n'ont pas réussi à produire le mécanisme 0 (basal) de phonation. Quoi qu'il en soit, la passation complète, sans compter les temps de pause, durait en moyenne 28 minutes et 45s, avec un écart-type de trois minutes et 14s.

5.3.1.3.2. Expérience n°5

L'expérience n°5 consistait uniquement en des enregistrements acoustiques de la production de parole et comportait 36 items différents, répétés trois fois. Les participants étaient assis sur une chaise. Nous avons enregistré le signal acoustique à l'aide d'un microphone dynamique ATR1200 (Audio-Technica, Japon) placé de biais à quelques centimètres de leur bouche et relié, par un câble XLR à un préamplificateur Fireface Uc (RME, Allemagne), puis par un câble USB à un ordinateur, et grâce au logiciel Audacity. Les participants devaient d'abord lire trois textes longs, puis 72 phrases hecto-syllabiques et, enfin, 71 mots dissyllabiques, avant de lire les 108 occurrences des items étudiés. Nous leur demandions de lire une première fois l'ensemble de ce matériel à voix haute, puis de lire tout une seconde fois avec une voix plus aiguë que leur voix habituelle. Nous rappelons que les items étaient transcrits orthographiquement. Les textes, les phrases et les mots enregistrés comportaient trois occurrences de chacune des 12 consonnes étudiées, dans chacune des trois positions étudiées (pré-vocalique, intervocalique et postvocalique), mais nous n'avons pas eu la possibilité d'exploiter ces enregistrements pendant la réalisation de notre thèse.

Nous notons que, pour les deux types de voix, la lecture des textes durait en moyenne quatre minutes et 49 secondes (s), avec un écart-type de 32s, la lecture des phrases durait en moyenne quatre minutes et 21s, avec un écart-type de 27s, la lecture des mots durait en moyenne deux minutes et 36 secondes, avec un écart-type de 12s, et la lecture des items que nous avons étudiés durait en moyenne 3 minutes et 39s, avec un écart-type de 15s. La passation complète, sans compter les temps de pause, durait donc en moyenne 30 minutes et 46s, avec un écart-type d'une minute et 45s.

5.3.1.4. Clinique : Expérience n°6

L'expérience n°6 associait l'enregistrement acoustique de la production et l'auto-perception de l'effort en parole vocale modale usuelle et comportait 36 items répétés deux fois, dans des paires. Les patients étaient équipés d'un microphone serre-tête dynamique Shure WH20 (Shure Inc., IL

aux Etats-Unis), relié avec un câble XLR à un numériseur digital Shure X2U (Shure Inc., IL aux Etats-Unis), puis avec un câble USB à un ordinateur. Ils devaient lire à voix haute chacune des 48 paires d'items, dont les 36 paires étudiées, en marquant une pause silencieuse entre les deux items, puis entourer à l'aide d'un crayon celui qu'ils percevaient comme le plus difficile à produire dans la paire. Les paires d'items étaient réparties dans un ordre aléatoire, identique pour chaque patient, sur une feuille de papier, en deux colonnes et 24 lignes, comme présenté dans le Tableau 33. Le signal acoustique était enregistrée grâce au logiciel Praat (Boersma & Weeknink, 2014). La durée de cet enregistrement était considérée comme égale à la durée de complétion de la feuille.

am – an	cha – ja
da – ta	pa – ba
ar – al	ja – cha
ba – pa	ak – ag
ana – ama	ach – aj
ap – ab	fa – va
aza – assa	ama – ana
af – av	assa – aza
sa – za	ma – na
ata – ada	at – ad
as – az	aba – apa
ta – da	ag – ak
ava – afa	ab – ap
aj – ach	afa – ava
aka – aga	al – ar
aja – acha	acha – aja
la – ra	aga – aka
ad – at	apa – aba
ra – la	ka – ga
ada – ata	za – sa
ara – ala	ga – ka
va – fa	av – af
na – ma	ala – ara
az – as	an – am

Tableau 33 : présentation des 48 paires d'items dans l'expérience n°6 (passation)

Selon les patients, la passation pouvait durer entre deux et six minutes environ, avec une moyenne de trois minutes et 45 secondes (s) et un écart-type de 55s. Nous n'avons pas relevé les erreurs de jugement qu'ils pouvaient noter (ratures sur la feuille). Par ailleurs, nous n'avons pas

corrigé les erreurs de lecture liées notamment aux variations de prononciation de la lettre « g », dans les structure #CV et VCV, que certains patients ont prononcé avec une consonne /3/.

	Expérience					
	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6
Lieu	Domicile France entière Pièce calme	Domicile Sud-Est Pièce calme	Domicile Sud-Est Pièce calme	Laboratoire Aix-en-Provence Chambre sourde	Laboratoire Aix-en-Provence Chambre sourde	Hôpital Jossigny Pièce calme
Déroulement	Entretien, Consentement, Questionnaire, Apprentissage, Entraînement, Passation (4 sessions)	Entretien, Consentement, Apprentissage, Entraînement, Passation (3 sessions)	Entretien, Consentement, Passation (4 sessions)	Entretien, Consentement, Démonstration, Passation (9 sessions)	Entretien, Consentement, Démonstration, Passation (8 sessions)	Entretien, Passation (1 session)
Consigne	Lecture à voix haute, Choix item (facile ou difficile)	Lecture en chuchotant, Choix item (facile)	Ecoute, Choix item (difficile)	Lecture à voix haute + grave + aigu + faible + fort + soufflé + pressé Lecture en chuchotant Lecture en voix extrêmement grave	Lecture à voix haute + aigu	Lecture à voix haute, Choix item difficile
Durée moyenne	28'52''	18'59''	37'48''	28'45''	30'46''	3'45''
Dispositifs	Papier-crayon	Papier-crayon	Ordinateur (Perceval) Création stimuli : ordinateur avec logiciel Audacity	Ordinateurs (Perceval, Phonedit) EVA II (pièce à main : microphone fixe calibré, transducteur de pression, pneumo- tachographe) + capteur pression mécanique [+ électro- glottographe]	Ordinateurs (Perceval, Audacity) Microphone non fixe Préamplificateur	Papier-crayon Microphone fixe non calibré Numériseur Ordinateur (Praat)

Tableau 34 : récapitulatif des protocoles de recueil des données pour les six expériences

5.3.2. Traitements des données

Après avoir recueilli les données perceptives et physiques et avant de les analyser, nous avons procédé à différents traitements. Pour les mesures perceptives, il s'agissait principalement d'informatisation et d'uniformisation des données. Pour les enregistrements physiques, il s'agissait

plutôt de segmentation, d'annotation, d'extraction et de sélection des données. Le traitement de données est résumé dans le Tableau 35, page 129.

5.3.2.1. Perceptives

Afin de traiter les données de la même manière pour toutes les expériences de perception, nous avons considéré uniquement les items désignés comme difficiles. Cela signifie que, lorsque les participants avaient indiqué l'item le plus facile à produire dans la paire, nous devions inverser leur réponse pour repérer le moins facile. Les données obtenues correspondaient alors toutes aux items jugés les plus difficiles à produire dans les paires et se distribuaient donc en classes distinctes.

5.3.2.1.1. Expérience n°1

Pour l'expérience n°1, réalisée sur papier, nous avons entré manuellement les réponses des participants dans un tableau informatique en notant « 1 », pour le choix du premier item de la paire, ou « 2 », pour le choix du second, grâce au logiciel Excel (Microsoft, WA, Etats-Unis). Pour la moitié des participants, qui avaient reçu la consigne d'indiquer l'item le plus facile à produire dans la paire, nous avons ensuite inversé automatiquement les réponses « 1 » et « 2 ».

5.3.2.1.2. Expérience n°2

Pour l'expérience n°2, réalisée aussi sur papier, nous avons de nouveau entré manuellement les réponses des participants dans un tableau informatique en notant « 1 » pour le choix du premier item ou « 2 » pour le choix du second item de la paire, grâce au logiciel Excel (Microsoft, WA, Etats-Unis). Pour tous les participants, nous avons ensuite inversé automatiquement les réponses « 1 » et « 2 » car ils avaient reçu la consigne d'indiquer l'item le plus facile dans chaque paire.

5.3.2.1.3. Expérience n°3

Pour l'expérience n°3, réalisée sur ordinateur, les réponses des participants se trouvaient déjà sous la forme « 1 » pour le choix du premier item de la paire ou « 2 » pour le choix du second, dans des fichiers textes. Nous avons converti ces fichiers textes en fichiers Excel (Microsoft, WA, Etats-Unis). Ici, tous les participants avaient reçu la consigne d'indiquer l'item le plus difficile à produire dans chaque paire, nous n'avons donc pas manipulé les données.

En ce qui concerne les stimuli utilisés, comme nous l’avons expliqué plus haut, pour chaque locuteur, nous avons découpé le signal acoustique d’une occurrence non spécifique de chaque item et nous avons concaténé les items entre eux pour former les paires. Nous avons appliqué les mesures acoustiques décrites plus bas sur les items utilisés, lorsque cela était possible. En effet, pour chacune des quatre voix enregistrées, nous avons sélectionné 48 items, dont 12 consonnes isolées, afin de créer les paires étudiées. Nous avons donc traité les données acoustiques pour les 36 items dans lesquels la consonne était associée à au moins une voyelle, chez chaque locuteur.

5.3.2.1.4. Expérience n°6

Pour l’expérience n°6, réalisée sur papier, en ce qui concerne les données perceptives, nous avons entré manuellement les réponses des patients dans un tableau informatique en notant « 1 », pour le choix du premier item de la paire, ou « 2 », pour le choix du second, grâce au logiciel Excel (Microsoft, WA, Etats-Unis). Comme les patients avaient reçu la consigne d’indiquer l’item le plus difficile à produire dans chaque paire, nous n’avons pas manipulé les données. Celles-ci se distribuaient en deux classes distinctes : consonnes voisées et consonnes non voisées.

5.3.2.2. Physiques

Afin de traiter les données de la même manière pour toutes les expériences de production, nous avons notamment converti les fichiers de données physiologiques et aérodynamiques, de l’expérience n°4, en fichiers Rawalaw, pour les segmenter, les annoter et en extraire les données, comme pour les fichiers acoustiques, grâce au logiciel Praat (Boersma & Weenkink, 2014). Dans toutes les expériences, nous avons segmenté et annoté les items phonétiquement, à partir de l’onde sonore et du spectrogramme. Un exemple de segmentation des phonèmes étudiés dans un train de syllabes de l’expérience n°4 est présenté sur la Figure 19. Toutes les mesures ont été ensuite réalisées de manière automatique grâce à des scripts informatiques.

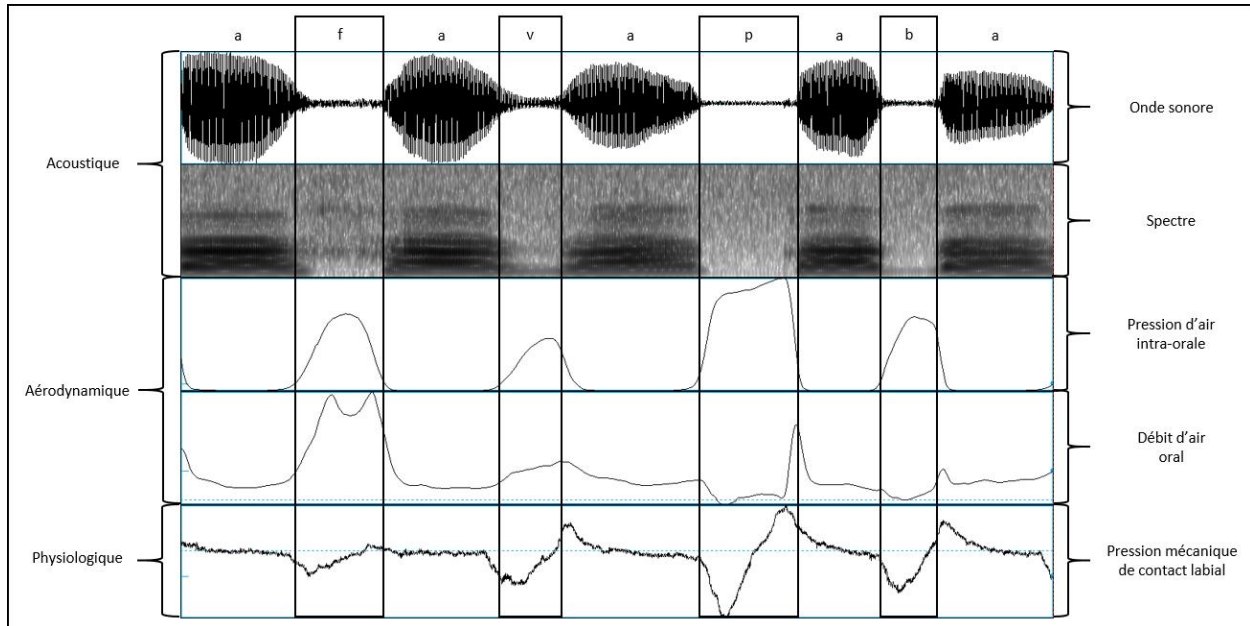


Figure 19 : exemple de segmentation des phonèmes étudiés au centre d'un train de syllabes en fonction du signal sonore et du spectre acoustique et présentation des signaux aérodynamiques et physiologiques

En ce qui concerne les données acoustiques, pour les enregistrements de production en parole vocale modale, nous avons d'abord déterminé le centre de gravité des voyelles, c'est-à-dire le point où les deux premiers formants étaient les plus rapprochés. Ce centre de gravité correspond environ au milieu des voyelles. En effet, dans l'expérience n°4, il se situe en moyenne à 49 pourcents (%) de la durée des voyelles, avec un écart-type de 20%, tandis que, dans l'expérience n°5, il se situe en moyenne à 45% de la durée des voyelles, avec un écart-type de 13%. Ensuite, autour de ce point et sur une fenêtre égale à trois fois et demie la durée moyenne d'un cycle vibratoire, nous avons mesuré la fréquence fondamentale (F_0) en Hertz (Hz), l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H_1 - H_2) en décibels (dB) et, pour l'expérience n°4 dans laquelle la distance du microphone était calibrée, le niveau de pression sonore (SPL) en dB également. Pour la F_0 , nous avons ensuite transformé la valeur obtenue en Hz en demi-ton (dT) en multipliant par 12, c'est-à-dire par le nombre de demi-tons entre une fréquence et le double de cette fréquence, le logarithme de base deux appliqué au rapport entre cette valeur de F_0 et une valeur de 440Hz, puis en ajoutant 69dT, valeur correspondant à la fréquence de 440Hz ($12 \cdot \log_2[F_0/440] + 69$).

Toujours en ce qui concerne les données acoustiques, pour les enregistrements de production en parole vocale modale, dans les voyelles pré-consonantiques, nous avons relevé la fréquence instantanée (F_i) pour les dix derniers cycles vibratoires, c'est-à-dire l'inverse de la durée entre deux

pulses, puis nous avons converti la valeur obtenue en Hertz (Hz) en une valeur en demi-tons (dT) et, enfin, nous avons calculé la différence de F_i , entre le premier cycle et chacun des suivants, afin de mesurer la fréquence fondamentale relative (RFF) à initiation de la consonne, selon la méthode originale (Stepp et al., 2012). Nous avons calculé la différence entre la fréquence fondamentale (F_0) relevée au niveau du centre de gravité de la voyelle et la valeur moyenne de F_i pour les trois derniers cycles vibratoires afin de mesurer la RFF_a , selon notre adaptation de la méthode de Stepp. Inversement, dans les voyelles post-consonantiques, nous avons relevé la F_i pour les dix premiers cycles vibratoires, nous avons converti chaque valeur obtenue en dT et nous avons calculé la différence de F_i , entre chacun des cycles et le dernier, afin de mesurer la RFF à la terminaison de la consonne, toujours selon la méthode originale. De même, nous avons moyenné la F_i pour les trois premiers cycles vibratoires et nous avons calculé la différence entre cette valeur et la F_0 relevée au niveau du centre de gravité de la voyelle, afin de mesurer la RFF_a selon notre méthode adaptée. Par ailleurs, nous avons également mesuré le taux de voisement (V%) des consonnes intervocaliques de manière automatique, en fonction du nombre de pulses et de la durée segmentale.

Enfin, pour tous les enregistrements de parole, vocale et chuchotée, modale et basale pour la parole vocale, usuelle et inusuelle ou contrôlée pour la parole vocale modale, nous avons mesuré la durée des voyelles, ainsi que des consonnes intervocaliques en secondes (s), en fonction de notre segmentation manuelle réalisée à partir du signal acoustique.

5.3.2.2.1. Expérience n°4

Ici, nous avons appliqué les mesures acoustiques aux quatre consonnes centrales de chaque train de huit syllabes simples directes consonne-voyelle (CV), ainsi qu'à leurs voyelles adjacentes, c'est-à-dire de la voyelle située dans la deuxième syllabe à la voyelle située dans la sixième. La sélection des phonèmes dans un train de syllabe est illustrée par la Figure 20.

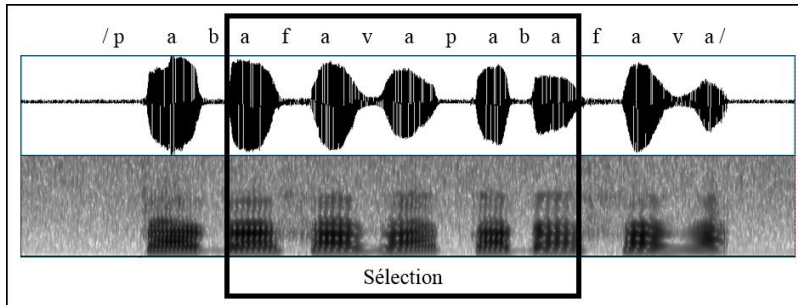


Figure 20 : consonnes et des voyelles sélectionnées dans chaque train de syllabes

En plus de ces mesures acoustiques, dans tous les enregistrements de l'expérience n°4, nous avons réalisé des mesures aérodynamiques. Au niveau des voyelles, nous avons mesuré la valeur minimale de pression sus-glottique ou intra-orale (IOP), en hectopascals (hPa), et le débit du flux d'air trans-articatoire (TAF) correspondant, en litres par secondes (L/s). En divisant l'IOP par le TAF, nous avons calculé la résistance articulaire (AR) minimale des voyelles, en hPa/L/s. Au niveau des consonnes, à l'inverse, nous avons mesuré la valeur maximale de IOP et, dans le cas des consonnes fricatives, le TAF correspondant. Pour ces consonnes fricatives, nous avons donc aussi calculé l'AR maximale. Par ailleurs, nous avons calculé la différence d'IOP entre les consonnes fricatives non voisées et voisées d'un même train de syllabes, rapportée à leur différence de TAF, afin de figurer la différence de résistance glottique (GR). Pour les consonnes occlusives, nous avons considéré que le TAF était toujours nul, donc que l'AR était totale. Nous avons alors calculé la différence d'IOP entre les consonnes occlusives non voisées et voisées d'un même train de syllabes pour figurer la différence de pression autour de la glotte (ΔGP), en supposant que la pression sous-glottique (SGP) était constante pendant la production de ce train de syllabes. Enfin, pour toutes les consonnes, nous avons mesuré les pics de TAF précédant la fermeture et suivant le relâchement. Par ailleurs, à titre d'exemple, nous avons mesuré une durée aérodynamique des consonnes, entre le pic de TAF précédant et le pic de TAF suivant leur articulation.

Dans tous les enregistrements de cette expérience, nous avons aussi réalisé une mesure physiologique. Pour la consonne, nous avons relevé le pic négatif et le pic positif sur le signal de pression mécanique de contact (MCP) au niveau de la lèvre inférieure et nous avons mesuré leur écart dans une unité arbitraire (u). Comme nous l'avons mentionné plus haut, des contraintes temporelles liées à la réalisation de cette thèse nous ont empêchés de réaliser des mesures sur le

signal enregistré en électroglottographie (EGG). Par ailleurs, là encore à titre d'exemple, nous avons mesuré une durée physiologique des consonnes, entre le premier et le second pic de MCP.

5.3.2.2.2. Expérience n°5

Dans l'expérience n°5, nous avons appliqué toutes les mesures acoustiques décrites plus haut sur toutes les voyelles et toutes les consonnes, dans tous les items enregistrés.

5.3.2.2.3. Expérience n°6

Dans l'expérience clinique, nous avons également appliqué les mesures acoustiques décrites plus haut sur toutes les voyelles et toutes les consonnes, dans tous les items étudiés.

	Expérience					
	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6
Données	Perceptives	Perceptives	Perceptives	Physiques (physiologiques, aérodynamiques, acoustiques)	Physiques (acoustiques)	Perceptives et Physiques (acoustiques)
Traitements manuels	Informatisation (« 1 » ou « 2 »)	Informatisation (« 1 » ou « 2 »)	–	Segmentation et annotation (phonèmes)	Segmentation et annotation (phonèmes)	Informatisation (« 1 » ou « 2 »), Segmentation et annotation (phonèmes)
Traitements automatiques	Uniformisation	Uniformisation	–	Conversion, Extraction (SPL, F0, H1-H2, F _i , V%, durées, TAF, IOP, pics signal pression) Calcul (RFF, RFF _a , AR, différence de GR estimée, différence de ΔGP estimée, MCP)	Extraction (F0, H1-H2, F _i , V%, durées) Calcul (RFF, RFF _a)	Extraction (F0, H1-H2, F _i , V%, durées) Calcul (RFF, RFF _a)

Tableau 35 : récapitulatif du traitement des données pour les six expériences

5.3.3. Analyses des données

Pour l'analyse des données, nous avons effectué différents tests statistiques dans les groupes de participants témoins mais non chez les patients. En effet, les patients présentaient des profils variés et ne pouvaient pas être considérés comme un groupe. Nous avons donc réalisé, pour eux, des analyses descriptives des données perceptives et acoustiques, au cas par cas. Nous présentons un résumé des méthodes d'analyses des données dans le Tableau 40, page 136.

5.3.3.1. Groupes

Dans les expériences exploratoires, menées auprès des groupes de participants témoins, nous avons obtenu des données perceptives distribuées en classes et des données physiques continues. Nous avons donc analysé les premières à l'aide de tests statistiques non paramétriques, notamment avec le khi-carré de Pearson, et les secondes à l'aide de test statistiques paramétriques, notamment avec le test de Fisher. Nous nous sommes bornés à des analyses d'effets et d'interactions simples.

5.3.3.1.1. Expérience n°1

Dans la première expérience de perception, le traitement des données reposait sur le test non paramétrique khi-carré de Pearson. Selon les oppositions considérées pour l'analyse, la variable dépendante pouvait être : l'item, sa structure, sa consonne, le voisement de sa consonne, le mode ou le lieu articuloire de sa consonne. L'hypothèse nulle correspondait au hasard, c'est-à-dire que la fréquence de désignation attendue pour chaque item était égale à la moitié du nombre de présentations dudit item, soit 50 pourcents (%). Nous avons calculé la valeur de khi-carré (χ^2) comme la somme des différences entre le nombre observé de désignations d'un item et le nombre attendu, portées au carré, puis divisées par le nombre attendu ($\sum[(\text{observé}-\text{attendu})^2/\text{nombre attendu}]$). Afin de déterminer la significativité des effets statistiques observés, nous avons calculé la probabilité (p) du khi-carré à partir de sa valeur et de son degré de liberté, grâce au logiciel Statview (SAS Intitute Inc, NC, Etats-Unis). Ce degré de liberté correspondait au nombre de classes considérées, diminué d'une unité. Le seuil de significativité était fixé à 1% ($p < 0,01$).

Nous avons mesuré les effets d'interaction simple des différentes variables indépendantes : le sexe et l'âge du participant, la consigne reçue et l'ordre des items. Dans les oppositions de structure, les variables indépendantes pouvaient aussi être la consonne ou chacun de ses trois traits articuloires. Dans les oppositions de consonnes, la structure de l'item pouvait être une variable indépendante. Enfin, dans les oppositions de voisement, de mode ou de lieu articuloire, outre la structure de l'item, les deux autres traits articuloires pouvaient être des variables indépendantes. Afin de mesurer ces interactions simples, nous avons réalisé le test khi-carré à partir de tableaux de contingences, grâce encore au logiciel Statview (SAS Intitute Inc, NC, Etats-Unis). Dans la présentation des résultats, en plus de la valeur du khi-carré (χ^2) et de sa probabilité (p) avec un seuil de significativité à 1 pourcent (%), nous présentons la taille de l'effet mesurée par le phi de

Cramer (ϕ), lorsque le degré de liberté est égal à 1, ou par la valeur de Cramer (V), dans les autres cas. La mesure de la taille de l'effet dépend de ce degré de liberté, comme indiqué dans le Tableau 36.

		Taille de l'effet		
		Petit	Moyen	Grand
Degrés de liberté	1	0,100	0,300	0,500
	2	0,071	0,212	0,354
	3	0,058	0,173	0,289
	4	0,050	0,150	0,250
	6	0,041	0,122	0,204
	9	0,033	0,100	0,167
	11	0,030	0,090	0,151
	22	0,021	0,064	0,107
	33	0,017	0,052	0,087
	35	0,017	0,051	0,085
	47	0,015	0,044	0,073

Tableau 36 : valeurs phi ou V de Cramer en fonction du degré de liberté (test chi-carré)

Nous présentons les résultats de ces expériences de perception dans les tableaux en précisant trois données : d'abord, le nombre de fois où l'item a été perçu comme le plus difficile (ou le moins facile) à produire dans les paires, ensuite, le pourcentage représenté par ce nombre par rapport au nombre de paires dans lesquelles l'item a été présenté (taux de perception de la difficulté) et, enfin, le rang occupé par l'item, parmi les items considérés dans l'analyse, sur une échelle allant du plus facile (1) au plus difficile (n).

5.3.3.1.2. Expérience n°2

Dans cette expérience de perception, nous avons réalisé les mêmes analyses statistiques que dans la première expérience, présentée ci-dessus, à l'exception des effets d'interaction simple de l'âge du participant et de la consigne reçue. Par ailleurs, nous avons analysé l'effet d'interaction simple de la participation préalable à l'expérience n°1.

5.3.3.1.3. Expérience n°3

Dans cette dernière expérience de perception, nous avons aussi réalisé les mêmes analyses statistiques que dans l'expérience n°1, à l'exception encore des effets d'interaction simple de l'âge

du participant et de la consigne reçue. En revanche, comme dans la deuxième expérience, nous avons analysé l'effet d'interaction simple de la participation préalable à l'expérience n°1. Nous avons aussi analysé l'interaction simple de la voix perçue, séparément pour les femmes et pour les hommes.

En ce qui concerne les stimuli acoustiques utilisés, comme présenté dans le Tableau 37, nous avons caractérisé les voix en fonction de la fréquence fondamentale (F0) et de l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2). Nous notons que les deux locuteurs du même sexe présentent des hauteurs vocales comparables (F0 égales). Cependant, le locuteur masculin *z* présente une voix plus pressée (H1-H2 inférieure) que le locuteur masculin *y*.

		Fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT)	Amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en décibels (dB)
Femmes	a	55	6
	b	55	8
Hommes	y	42	11
	z	42	1

Tableau 37 : paramètres acoustiques des voix perçues dans l'expérience n°3

Dans les cas où nous observons l'effet d'une variable sur la perception de l'effort, nous présentons les moyennes de durées segmentales, de taux de voisement (V%) et de fréquence fondamentale relative originale (RFF) et adaptée (RFF_a), en fonction de cette variable.

5.3.3.1.4. Expérience n°4

Dans l'expérience de production n°4, le traitement des données reposait sur une analyse de variance avec le test de Fisher. L'hypothèse nulle correspondait à une absence de différence. Nous avons calculé la valeur de Fisher (F), la probabilité (p) de pouvoir rejeter l'hypothèse nulle, en fixant le seuil de significativité à 1 pourcent (1% ; $p < 0,01$), et la taille de l'effet par l'éta-carré (η^2) de Cohen. Nous considérons l'effet comme petit pour $\eta^2 > 0,01$, moyen pour $\eta^2 > 0,06$ et grand pour $\eta^2 > 0,14$.

Pour commencer, dans les productions de parole vocale modale usuelle, nous avons analysé différentes variables dépendantes : la fréquence fondamentale relative originale (RFF) et adapté (RFF_a), le taux de voisement (V%) et la durée des consonnes, la résistance articulaire (AR) et l'écart estimé de résistance glottique (GR) pour les consonnes fricatives ou de pression autour de

la glotte (ΔGP) pour les consonnes occlusives et la pression mécanisme de contact (MCP) sur la lèvre inférieure pour toutes les consonnes. Dans cette analyse, les variables indépendantes étaient : le sexe du participant, ainsi que le voisement et le mode articulatoire de la consonne.

Dans les productions de parole vocale modale inusuelles, nous avons d'abord analysé trois variables dépendantes, en fonction de la consigne : le niveau de pression sonore (SPL), la fréquence fondamentale (F0) et l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2). Nous avons effectué des comparaisons intra-individuelles entre, d'une part, la voix usuelle et, d'autre part, chacune des productions de voix contrôlées, que ce soit au niveau de l'intensité (faible et forte), de la hauteur (grave et aiguë) ou de la qualité (soufflée et pressée). Lorsque les trois paramètres (SPL, F0 et H1-H2) variaient de manière significative, nous caractérisions le type de voix produit par rapport à la voix usuelle, comme présenté dans le Tableau 38. Nous avons ensuite sélectionné et analysé des types de voix qui apparaissaient de manière récurrente.

		Paramètres acoustiques			Voix
		SPL	F0	H1-H2	
Possibilité	1	+	+	–	Forte-aiguë-pressée (F+)
	2	+	+	+	Forte-aiguë-soufflée
	3	+	–	–	Forte-grave-pressée
	4	+	–	+	Forte-grave-soufflée
	5	–	+	–	Faible-aiguë-pressée
	6	–	+	+	Faible-aiguë-soufflée
	7	–	–	–	Faible-grave-pressée
	8	–	–	+	Faible-grave-soufflée (F-)

Paramètres acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) évaluant l'intensité vocale ; fréquence fondamentale (F0) évaluant la hauteur vocale ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) évaluant la qualité vocale. Variations non intuitives en gris.

Tableau 38 : types de voix possibles par rapport à la voix usuelle dans l'expérience n°4

Toujours dans la parole vocale modale, pour les productions contrôlées ainsi sélectionnées et la production usuelle, nous avons ensuite analysé l'effet de la variable indépendante décrite comme le type de voix sur différentes variables dépendantes : la fréquence fondamentale relative originale (RFF) et adaptée (RFF_a), le taux de voisement (V%), la durée des voyelles et des consonnes, la résistance articulatoire (AR) pour les voyelles et les consonnes fricatives, l'écart estimé de résistance glottique (GR) pour les consonnes fricatives, l'écart estimé de pression autour de la glotte (ΔGP) pour les consonnes occlusives et la pression mécanisme de contact (MCP) sur

la lèvre inférieure pour toutes les consonnes. Nous avons aussi analysé les effets d'interaction du sexe du participant, ainsi que du voisement et du mode articulatoire de la consonne.

Pour terminer, nous avons contrôlé les productions de parole vocale basale et de parole chuchotée à l'aide des paramètres acoustiques de niveau de pression sonore (SPL), de fréquence fondamentale (F0) et d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2). Pour les trois types de parole étudiés, vocale ou chuchotée d'une part et, pour la parole vocale, modale ou basale d'autre part, nous avons analysé l'effet du type de parole sur les variables dépendantes suivantes : la durée des voyelles et des consonnes, la résistance articulatoire (AR) pour les voyelles et les consonnes fricatives, l'écart estimé de résistance glottique (GR) pour les consonnes fricatives, l'écart estimé de pression autour de la glotte (ΔGP) pour les consonnes occlusives et la pression mécanique de contact (MCP) sur la lèvre inférieure pour toutes les consonnes. Nous avons là aussi analysé les effets d'interaction du sexe du participant, ainsi que du voisement et du mode articulatoire de la consonne.

5.3.3.1.5. Expérience n°5

Dans l'expérience de production n°5, le traitement des données reposait aussi sur une analyse de variance avec le test de Fisher. L'hypothèse nulle correspondait donc toujours à une absence de différence. Nous avons, là encore, calculé la valeur de Fisher (F), la probabilité (p) de pouvoir rejeter l'hypothèse nulle, en fixant le seuil de significativité à 1% ($p < 0,001$), et la taille de l'effet par l'éta-carré (η^2) de Cohen. Nous avons encore considéré l'effet comme petit pour $\eta^2 > 0,01$, moyen pour $\eta^2 > 0,06$ et grand pour $\eta^2 > 0,14$.

Pour commencer, dans les productions de parole vocale modale usuelle, nous avons analysé les variables dépendantes de fréquence fondamentale relative originale (RFF) et adaptée (RFF_a), de taux de voisement (V%), ainsi que de durée des consonnes intervocaliques, en fonction du sexe du participant, de la participation préalable à l'expérience n°4, ainsi que du voisement, du mode et du lieu articulatoire de la consonne. Pour la RFF et la RFF_a, nous avons aussi analysé l'effet de la structure de l'item : VC# et VCV pour la terminaison vocalique et #CV et VCV pour l'initiation.

Pour toutes les productions, nous avons d'abord analysé les variables dépendantes de fréquence fondamentale (F0) et d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), en fonction de la consigne. Nous n'avons pas observé le niveau de pression sonore (SPL) car le

microphone ne se trouvait pas à une distance calibrée. Nous avons fait des comparaisons intra-individuelles entre, d'une part, la voix usuelle et, d'autre part, la production de voix inusuelle, contrôlée au niveau de la hauteur (aigüe). Lorsque les deux paramètres (F0 et H1-H2) variaient de manière significative, nous caractérisions le type de voix contrôlée produit par rapport à la voix usuelle, comme présenté dans le Tableau 39. Comme dans l'expérience n°4, nous avons ensuite sélectionné et analysé des types de voix qui apparaissaient de manière récurrente.

		Paramètres acoustiques		Voix
		F0	H1-H2	
Possibilité	1	+	-	Aigüe-pressée (f+)
	2	+	+	Aigüe-soufflée
	3	-	-	Grave-pressée
	4	-	+	Grave-soufflée (f-)

Paramètres acoustiques : fréquence fondamentale (F0) évaluant la hauteur vocale ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) évaluant la qualité vocale. Variations non intuitives en grisé.

Tableau 39 types de voix possibles par rapport à la voix usuelle dans l'expérience n°5

Pour finir, pour les productions contrôlées ainsi sélectionnées et la production usuelle, nous avons analysé l'effet de la variable indépendante décrite comme le type de voix sur les variables dépendantes suivantes : la fréquence fondamentale relative originale (RFF) et adaptée (RFF_a), le taux de voisement (V%), la durée des voyelles et la durée des consonnes intervocaliques. Nous avons aussi analysé les effets d'interaction du sexe du participant, de la participation préalable à l'expérience n°4, ainsi que du voisement, du mode et du lieu articulatoire de la consonne. De plus, pour la RFF, la RFF_a et la durée des voyelles, nous avons analysé l'effet de la structure de l'item.

5.3.3.2. Cas : Expérience n°6

Dans l'expérience n°6, nous avons réalisé des analyses descriptives et non statistiques. En ce qui concerne les données perceptives, pour chaque patient, nous avons d'abord compté le nombre de consonnes voisées perçues comme plus difficiles à produire que les consonnes non voisées dans les 36 paires d'items étudiées, puis nous avons calculé le pourcentage représenté par ce nombre par rapport au nombre de paires. Nous notons que, si nous avons réalisé le test statistique non paramétrique khi-carré de Pearson, un score de 26 sur 36, correspondant à la perception d'un effort supérieur pour la production des consonnes voisées dans 72 pourcents (%) des cas, aurait eu une probabilité (p) inférieure à 1% (p<0,01), tandis qu'un score de 23 sur 36,

correspondant la perception d'un effort supérieur pour la production des consonnes voisées dans 64% des cas, aurait eu une probabilité (p) seulement inférieure à 10% ($p < 0,1$).

Par ailleurs, en ce qui concerne les données physiques, pour chaque patient, nous présentons les valeurs moyennes de fréquence fondamentale (F0) et d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2). Nous décrivons aussi plus particulièrement certaines voix, notamment lorsqu'elles présentent des dévoisements ou lorsqu'elles sont bitonales. Ensuite, toujours pour chaque patient, mais en fonction du voisement de la consonne, nous présentons les valeurs moyennes de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a), de taux de voisement (V%) et de durées segmentales, notamment pour les consonnes intervocaliques.

	Expérience					
	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6
Variables dépendantes	Items, structures, consonnes, voisement, mode, lieu	Items, structures, consonnes, voisement, mode, lieu	Items, structures, consonnes, voisement, mode, lieu	SPL, F0, H1-H2, RFF, RFF_a , V%, durées, AR, MCP, écart estimé de GR, écart estimé de ΔGP	F0, H1-H2, RFF, RFF_a , V%, durées	F0, H1-H2, RFF_a , V%, durées
Variables indépendantes analyses intra-individuelles	–	Type de parole	Canal perceptif	Consigne	Consigne	–
Variables indépendantes analyses interindividuelles	Sexe, âge du participant, consigne, ordre des items, structure, consonne, voisement, mode, lieu articulaire	Sexe du participant, participation préalable, ordre des items, structure, consonne, voisement, mode, lieu articulaire	Sexe du participant, participation préalable, voix des paires d'items, structure, consonne, voisement, mode, lieu articulaire	Sexe du participant, participation préalable, type de parole, type de voix, voisement, mode articulaire	Sexe du participant, participation préalable, type de voix, structure, voisement, mode, lieu articulaire	Voisement
Analyses	Statistiques non paramétriques Khi-carré (Pearson)	Statistiques non paramétriques Khi-carré (Pearson)	Statistiques non paramétriques Khi-carré (Pearson)	Statistiques paramétriques Analyse variance (Fisher)	Statistiques paramétriques Analyse variance (Fisher)	Descriptives –

Mesures : niveau de pression sonore (SPL) ; fréquence fondamentale (F0) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) ; fréquence fondamentale relative originale (RFF) ; fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ; taux de voisement (V%) ; résistance articulaire (AR) ; pression mécanique de contact (MCP) ; écart estimé de résistance glottique (GR) ; écart estimé de différence de pression autour de la glotte (ΔGP).

Tableau 40 : récapitulatif de l'analyse des données pour les six expériences

6. Résultats perceptifs

Nous présentons ici les résultats des expériences n°1, n°2 et n°3 de perception menées auprès des participants témoins. Nous rappelons que, d'une part, les expériences n°1 et n°2 étaient réalisées en auto-perception alors que l'expérience n°3 était réalisée en hétéro-perception et que, d'autre part, les expériences n°1 et n°3 étaient réalisées en parole vocale modale usuelle alors que l'expérience n°2 était réalisée en parole chuchotée. L'expérience n°1 portait sur 96 participants pouvant être répartis en deux groupes égaux en fonction de leur sexe, de leur âge ou de la consigne qui leur a été donnée. Les expériences n°2 et n°3 portaient chacune sur 24 participants différents pouvant être répartis en deux groupes égaux en fonction de leur sexe ou de leur participation préalable à l'expérience n°1. Dans l'expérience n°3, les femmes d'une part et les hommes d'autre part écoutaient les paires d'items produites deux fois, avec deux voix différentes. Les items étaient composés de l'une des 12 consonnes étudiées dans l'une des trois ou des quatre structures étudiées. Pour les expériences n°1 et n°3, nous présentons les résultats en considérant d'abord les quatre structures d'item #CV, VCV, VC#, et #C#, c'est-à-dire la totalité des 48 items étudiés, puis seulement les 36 items qui n'étaient pas des consonnes isolées #C#, comme dans l'expérience n°2. Dans ce cas-ci, nous excluons donc toutes les paires dans lesquelles au moins l'un des items présente la structure #C#. Pour les expériences n°2 et n°3, nous présentons, en plus, les résultats

pour le groupe des 12 participants ayant préalablement pris part à l'expérience n°1. Dans les tableaux, pour chaque analyse, nous présentons systématiquement trois données : le nombre de fois où l'item a été perçu comme le plus difficile, son pourcentage par rapport au nombre de paires dans lesquelles l'item apparaît (taux de perception de la difficulté) et le rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile. De plus, pour chaque analyse, les résultats ne différant pas significativement du hasard, c'est-à-dire de 50%, sont grisés dans les tableaux. Enfin, dans les tableaux, nous indiquons aussi la taille de l'effet pour les interactions significatives : négligeable (N), petit (P), moyen (M) ou grand (G). Nous plaçons aussi dans des tableaux les résultats non significatifs (ns) pour lesquels nous observons une tendance statistique, c'est-à-dire une probabilité p inférieure à 0,02. Nous présentons d'abord les résultats en considérant toutes les paires d'items, puis seulement les paires présentant une opposition de structure et, enfin, seulement les paires présentant une opposition de consonne. Parmi ces dernières, ensuite, nous présentons plus spécifiquement les oppositions de voisement, de mode articuloire et de lieu articuloire.

6.1. Comparaisons de l'item

Pour commencer, nous présentons les résultats en prenant en compte toutes les paires d'items, sans faire de distinction entre les oppositions portant sur leur structure et les oppositions portant sur leur consonne. Lorsque nous étudions quatre structures, c'est-à-dire que nous considérons 48 items, notamment dans les expériences n°1 et n°3, nous prenons en compte 168 paires différentes, qui sont toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 336 paires d'items par participant. Dans ce cas, chacun des 48 items étudiés apparaît dans une paire sur 24. Au contraire, lorsque nous étudions seulement trois structures, en excluant les consonnes isolées #C#, c'est-à-dire que nous ne considérons que 36 items, comme dans l'expérience n°2, nous prenons en compte 108 paires différentes qui sont aussi toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 216 paires d'items par participant. Dans ce cas, chacun des 36 items étudiés apparaît dans une paire sur 18. Dans les tableaux, nous distribuons les items en fonction de leur structure et de leur consonne. Pour une meilleure lisibilité des résultats, les structures sont présentées en colonnes, de celle perçue comme la plus facile à produire, à gauche, à celle perçue comme la plus difficile, à droite, et les consonnes sont présentées en lignes, de celle perçue comme la plus facile à produire, en haut, à celle perçue comme la plus difficile, en bas. Les items perçus comme les plus faciles à produire sont donc situés

en haut à gauche des tableaux, tandis que les items perçus comme les plus difficiles sont situés en bas à droite.

6.1.1. Expérience n°1

6.1.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°1 d'auto-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures étudiées #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 32.256 paires d'items. Chacun des 48 items étudiés apparaît donc dans 1.344 paires. Nous observons un effet de l'item ($\chi^2(47)=2007$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 153, disposé en annexe, nous constatons que les items perçus comme les plus faciles à produire présentent une structure #CV ou VCV, excepté pour la consonne fricative linguale voisée /z/, tandis que les items perçus comme les plus difficiles présentent au contraire une structure VC# ou #C#, excepté pour les consonnes fricatives linguales non voisées /s/ et /ʃ/. Il n'existe aucune interaction du sexe du participant ($\chi^2(47)=50$; $p=0,36$), de son âge ($\chi^2(47)=43$; $p=0,65$) ou de la consigne donnée ($\chi^2(47)=54$; $p=0,24$) sur cet effet de l'item : la perception d'un item ne varie pas de manière significative entre les 96 participants témoins, du moins en fonction de ces trois paramètres.

6.1.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°1, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 20.736 paires d'items. Dans ce cas, chacun des 36 items étudiés apparaît donc dans 1.152 paires. Nous observons encore un effet de l'item sur l'auto-perception de la difficulté de production en parole modale ($\chi^2(35)=918$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 41, nous constatons notamment que les items perçus comme les plus difficiles à produire présentent de nouveau une consonne /z/ ou une structure VC#, excepté pour les consonnes apicales non voisées /t/ et /s/. Il n'existe toujours aucune interaction du sexe du participant ($\chi^2(35)=36$; $p=0,42$), de son âge ($\chi^2(35)=34$; $p=0,52$) ou de la consigne donnée ($\chi^2(35)=44$; $p=0,14$) sur cet effet de l'item.

Item	Structure			Total	
	#CV	VCV	VC#		
Consonne	v	306 ; 26,6 ; 1	395 ; 34,3 ; 2	653 ; 56,7 ; 26	1.354
	t	404 ; 35,1 ; 3	475 ; 41,2 ; 9	633 ; 54,9 ; 24	1.512
	s	428 ; 37,2 ; 4	584 ; 50,7 ; 19	568 ; 49,3 ; 18	1.580
	d	467 ; 40,5 ; 8	482 ; 41,8 ; 10	691 ; 60,0 ; 29	1.640
	p	448 ; 38,9 ; 5	490 ; 42,5 ; 11	733 ; 63,6 ; 32	1.671
	k	462 ; 40,1 ; 6	495 ; 43,0 ; 12	719 ; 62,4 ; 31	1.676
	ʃ	522 ; 45,3 ; 14	530 ; 46,0 ; 15	644 ; 55,9 ; 25	1.696
	b	546 ; 47,4 ; 17	463 ; 40,2 ; 7	773 ; 67,1 ; 35	1.782
	z	598 ; 51,9 ; 21	543 ; 47,1 ; 16	659 ; 57,2 ; 27	1.800
	f	507 ; 44,0 ; 13	614 ; 53,3 ; 23	760 ; 66,0 ; 33	1.881
	g	591 ; 51,3 ; 20	601 ; 52,2 ; 22	821 ; 71,3 ; 36	2.013
	ʒ	699 ; 60,7 ; 30	671 ; 58,2 ; 28	761 ; 66,1 ; 34	2.131
	Total	5.978	6.343	8.415	20.736

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 41 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de l'item (en excluant les consonnes isolées)

6.1.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées)

6.1.2.1. Pour tous les participants

Dans l'expérience n°2 d'auto-perception de la difficulté de production en parole chuchotée, dans laquelle seules trois structures #CV, VCV et VC# sont étudiées, nous comptons 5.184 paires d'items. Dans ce cas, chacun des 36 items étudiés apparaît donc dans 288 paires. Nous observons un effet de l'item sur la perception ($\chi^2(35)=281$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 42, nous constatons que les items perçus comme les plus faciles à produire présentent notamment une structure #CV avec une consonne /v/, /t/ ou /s/, tandis que les items perçus comme les plus difficiles présentent une structure VC#, excepté pour certaines consonnes, dont notamment /v/, /s/ et /t/. Il n'existe aucune interaction du sexe du participant ($\chi^2(35)=26$; $p=0,87$) ou de la participation préalable à l'expérience n°1 en parole modale ($\chi^2(35)=22$; $p=0,96$) sur cet effet : la perception d'un item ne varie pas de manière significative entre les 24 participants témoins, du moins en fonction de ces deux paramètres.

Item	Structure			Total	
	#CV	VCV	VC#		
Consonne	v	72 ; 25,0 ; 2	112 ; 38,9 ; 5	146 ; 50,7 ; 19	330
	s	70 ; 24,3 ; 1	160 ; 55,6 ; 26	117 ; 40,6 ; 8	347
	t	90 ; 31,3 ; 3	115 ; 39,9 ; 7	152 ; 52,8 ; 22	357
	p	94 ; 32,6 ; 4	132 ; 45,8 ; 12	175 ; 60,8 ; 30,5	401
	d	114 ; 39,6 ; 6	119 ; 41,3 ; 9	177 ; 61,5 ; 32	410
	k	128 ; 44,4 ; 11	137 ; 47,6 ; 15	162 ; 56,3 ; 27	427
	b	126 ; 43,8 ; 10	134 ; 46,5 ; 13	175 ; 60,8 ; 30,5	435
	ʃ	138 ; 47,9 ; 16	144 ; 50,0 ; 18	192 ; 66,7 ; 33	474
	z	159 ; 55,2 ; 25	153 ; 53,1 ; 23	173 ; 60,1 ; 28	485
	f	143 ; 49,7 ; 17	147 ; 51,0 ; 20	203 ; 70,5 ; 34,5	493
	g	136 ; 47,2 ; 14	148 ; 51,4 ; 21	209 ; 72,6 ; 36	493
	ʒ	155 ; 53,8 ; 24	174 ; 60,4 ; 29	203 ; 70,5 ; 34,5	532
Total	1.425	1.675	2.084	5.184	

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 42 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet de l'item (sans consonnes isolées)

6.2.1.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception, lorsque nous considérons seulement les trois structures #CV, VCV et VC#, nous observons encore un effet de l'item ($\chi^2(35)=268$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 154, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de parole confondus, les items perçus comme les plus faciles à produire présentent de nouveau une structure #CV avec une consonne /v/, /s/ ou /t/, ou une structure VCV avec une consonne /v/ ou /t/, tandis que les items perçus comme les plus difficiles présentent de nouveau une consonne /ʒ/ une structure VC#, excepté notamment pour ces consonnes /v/, /t/ et /s/. Cependant, il n'existe pas d'interaction du type de parole sur cet effet ($\chi^2(35)=22$; $p=0,95$) : chez ces 12 participants témoins, la perception d'un item ne varie pas de manière significative entre l'expérience n°1 en parole modale et l'expérience n°2 en parole chuchotée.

6.1.3. Expérience n°3

6.1.3.1. Pour tous les participants

6.1.3.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures étudiées #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 8.064 paires d'items. Dans ce cas, chacun des items étudiés apparaît donc dans 336 paires. Nous observons un effet de l'item ($\chi^2(47)=595$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 155, disposé en annexe, nous constatons que les items perçus comme les plus faciles à produire présentent une structure VCV ou #CV, excepté pour les consonnes fricatives linguales voisées /z/ et /ʒ/, tandis que les items perçus comme les plus difficiles présentent une consonne /ʒ/ ou une structure #C#. Il n'existe aucune interaction du sexe du participant ($\chi^2(47)=27$; $p=0,99$) ou de la participation préalable à l'expérience n°1 d'auto-perception ($\chi^2(47)=33$; $p=0,94$) sur cet effet : la perception d'un item ne varie pas de manière significative entre les 24 participants témoins, du moins en fonction de ces deux paramètres. Au niveau intra-individuelle, il n'existe pas non plus d'interaction de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(47)=20$; $p=0,9998$) et pour les hommes ($\chi^2(47)=19$; $p=0,9999$).

6.1.3.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°3, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 5.184 paires d'items. Dans ce cas, chacun des 36 items étudiés apparaît donc dans 288 paires. Nous observons encore un effet de l'item sur l'hétéro-perception de la difficulté de production en parole modale ($\chi^2(35)=240$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 43, nous constatons que les items perçus comme les plus faciles à produire présentent une structure VCV ou une consonne fricative labiale voisée /v/, tandis que les items perçus comme les plus difficiles présentent une structure VC# ou, de nouveau, une consonne fricative linguale voisée /z/ ou /ʒ/. Il n'existe toujours aucune interaction du sexe du participant ($\chi^2(35)=20$; $p=0,98$), de la participation préalable à l'expérience n°1 d'auto-perception ($\chi^2(35)=30$; $p=0,71$) ou de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(35)=14$; $p=0,9995$) et pour les hommes ($\chi^2(35)=15$; $p=0,999$), sur cet effet.

Item	Structure			Total
	VCV	#CV	VC#	
v	80 ; 27,8 ; 1	98 ; 34,0 ; 3	137 ; 47,6 ; 17	315
t	96 ; 33,3 ; 2	127 ; 44,1 ; 11	142 ; 49,3 ; 19	365
f	121 ; 42,0 ; 8	131 ; 45,5 ; 14	144 ; 50,0 ; 22	396
k	107 ; 37,2 ; 4	130 ; 45,1 ; 12,5	177 ; 61,5 ; 30	414
d	124 ; 43,1 ; 10	122 ; 42,4 ; 9	169 ; 58,7 ; 27,5	415
s	134 ; 46,5 ; 16	130 ; 45,1 ; 12,5	155 ; 53,8 ; 25	419
p	112 ; 38,9 ; 5	115 ; 39,9 ; 7	193 ; 67,0 ; 34	420
b	114 ; 39,6 ; 6	148 ; 51,4 ; 23	180 ; 62,5 ; 32	442
ʒ	150 ; 52,1 ; 24	159 ; 55,2 ; 26	142 ; 49,3 ; 19	451
f	142 ; 49,3 ; 19	143 ; 49,7 ; 21	185 ; 64,2 ; 33	470
z	132 ; 45,8 ; 15	176 ; 61,1 ; 29	179 ; 62,2 ; 31	487
g	169 ; 58,7 ; 27,5	202 ; 70,1 ; 35	219 ; 76,0 ; 36	590
Total	1.481	1.681	2.022	5.184

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 43 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de l'item (en excluant les consonnes isolées)

6.1.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

6.1.3.2.1. Avec consonnes isolées

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet de l'item ($\chi^2(47)=573$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 156, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les items perçus comme les plus faciles à produire présentent une structure VCV ou #CV, excepté pour les consonnes postérieures voisées /ʒ/ et /g/, tandis que les items perçus comme les plus difficiles présentent une structure VC# ou #C#. Cependant, il n'existe pas d'interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(47)=54$; $p=0,23$) : chez ces 12 participants témoins, la perception d'un item ne varie pas de manière significative entre l'expérience n°1 d'auto-perception et l'expérience n°3 d'hétéro-perception.

6.1.3.2.2. En excluant les consonnes isolées

Dans ce même groupe, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet de l'item ($\chi^2(35)=275$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 157, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les items perçus comme les plus faciles à produire présentent une structure VCV avec une consonne /v/, /t/, /s/ ou /k/, tandis que les items perçus comme les plus difficiles présentent, de nouveau, soit une structure VC#, soit une consonne postérieure voisée /ʒ/ ou /g/. Cependant, il n'existe toujours pas d'interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(35)=34$; $p=0,52$).

6.1.4. Résumé

Dans ces expériences de perception, lorsque nous analysons toutes les oppositions d'items, nous observons que les participants témoins ont perçu davantage de difficulté dans la production des syllabes simples indirectes (VC#) et des consonnes voisées, notamment /z, ʒ, g/, alors qu'ils ont perçu davantage de facilité dans la production des syllabes simples directes (#CV), ou des logatomes dissyllabiques simples (VCV) qui sont assimilables à ces dernières, et des consonnes non voisées, notamment /t, s, f/. En ce qui concerne les consonnes isolées (#C#), lorsqu'elles ont été présentées, elles ont toujours été perçues comme les plus difficiles. Il est à noter que la consonne voisée /v/ a presque toujours été perçue comme facile à produire, malgré son voisement.

Dans les trois expériences, nous n'observons aucune interaction des critères de variation des participants (âge, sexe, consigne, participation préalable à l'expérience n°1), des autres critères de variations (ordre des items, voix perçue), du type de parole ou du type de perception.

6.2. Comparaisons de la structure

Nous présentons ensuite les résultats concernant uniquement les paires pour lesquelles l'opposition porte sur la structure de l'item. Ici, dans chaque paire, les deux items comportent strictement la même consonne comme, par exemple, « apa – ap », « aza – za », « ag – ga », « asa – s », « ad – d » ou « f – fa ». Lorsque nous comparons quatre structures, c'est-à-dire que nous

incluons les consonnes isolées #C#, notamment dans les expériences n°1 et n°3, six oppositions différentes sont étudiées (VCV-VC#, VCV-#CV, VC#-#CV, VCV-#C#, VC#-#C# et #C#-#CV). Nous prenons donc en compte 72 paires différentes qui sont toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 144 paires d'items par participant. Dans ce cas, chacune des quatre structures étudiées apparaît dans une paire sur deux. Lorsque nous ne considérons que trois structures, c'est-à-dire que nous excluons les consonnes isolées #C#, comme dans l'expérience n°2, seulement trois oppositions sont étudiées. Nous prenons donc en compte 36 paires différentes qui sont aussi toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 72 paires d'items par participant. Dans ce cas, chacune des trois structures étudiées apparaît dans deux paires sur trois. Dans les tableaux, pour faciliter les comparaisons entre les expériences, nous distribuons systématiquement les structures dans l'ordre suivant : d'abord #CV, ensuite VCV, puis VC# et, enfin, #C# si cela est applicable.

6.2.1. Expérience n°1

6.2.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°1 d'auto-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 13.824 paires d'items avec une opposition de structure. Chacune des quatre structures étudiées apparaît donc dans 6.912 paires. Nous observons un effet de la structure de l'item ($\chi^2(3)=3.293$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 158, disposé en annexe, nous constatons que la syllabe simple directe #CV est perçue comme la plus facile à produire, suivie par le logatome dissyllabique VCV, tandis que la syllabe simple indirecte VC# est perçue comme difficile et que la consonne isolée #C# est perçue comme la plus difficile. Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(3)=7$; $p=0,06$) ou de son âge ($\chi^2(3)=4$; $p=0,28$) sur cet effet : la perception d'une structure ne varie pas de manière significative entre les 96 participants en fonction de l'un de ces deux paramètres.

Cependant, il existe une petite interaction de la consigne donnée au participant sur cet effet ($\chi^2(3)=64$; $p<0,0001$; $V=0,068$) : dans le Tableau 159, disposé en annexe, nous constatons que l'effet observé entre les structures #CV et VCV est annulé quand la consigne est, comme dans l'expérience n°3, d'indiquer l'item le plus difficile à produire.

Par ailleurs, il existe une moyenne interaction de la consonne sur l'effet de la structure ($\chi^2(33)=207$; $p<0,0001$; $V=0,071$) : dans le Tableau 160, disposé en annexe, nous constatons notamment que l'effet observé entre les structures #CV et VCV est inversé pour les consonnes voisées /b/ et /z/. De plus, les résultats correspondent au hasard pour la structure VCV avec la consonne fricative non voisée /s/ et pour la structure VC# avec sa correspondante voisée /z/.

Cette interaction de la consonne sur l'effet de la structure semble donc principalement due à son voisement. En effet, il existe une petite interaction du voisement de la consonne sur cet effet ($\chi^2(3)=52$; $p<0,0001$; $V=0,061$) : dans le Tableau 161, disposé en annexe, nous constatons que la structure VCV est davantage perçue comme difficile pour les consonnes non voisées alors que la structure #C# est davantage perçue comme difficile pour les consonnes voisées.

L'interaction de la consonne sur l'effet de la structure semble également due à son mode articulaire. En effet, il existe une petite interaction du mode articulaire de la consonne sur cet effet ($\chi^2(3)=80$; $p<0,0001$; $V=0,076$) : dans le Tableau 162, disposé en annexe, nous constatons que la structure VCV est davantage perçue comme difficile pour les consonnes fricatives, alors que la structure #C# est davantage perçue comme difficile pour les consonnes occlusives.

En revanche, l'interaction du lieu articulaire de la consonne sur l'effet de la structure est négligeable ($\chi^2(6)=23$; $p=0,0008$; $V=0,029$) : dans le Tableau 163, disposé en annexe, il semble tout de même que l'effet observé entre les structures #CV et VC# soit plus important pour les consonnes antérieures.

6.2.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°1, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 6.912 paires d'items avec une opposition de structure. Dans ce cas, chacune des trois structures étudiées apparaît donc dans 4.608 paires. Nous observons encore un effet de la structure sur l'auto-perception de la difficulté de production en parole modale ($\chi^2(2)=1.449$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 44, nous constatons de nouveau que la structure #CV est perçue comme la plus facile à produire, suivie par la structure VCV, tandis que la structure VC# est perçue comme la plus difficile. Il n'existe toujours pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(2)=4$; $p=0,16$) ou de son âge ($\chi^2(2)=4$; $p=0,12$) sur cet effet.

	Structure de l'item			Total
	#CV	VCV	VC#	
Toutes	1.394 ; 30,3 ; 1	1.735 ; 37,7 ; 2	3.783 ; 82,1 ; 3	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 44 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure (en excluant les consonnes isolées)

Cependant, il existe toujours une petite interaction de la consigne donnée au participant sur l'effet de la structure ($\chi^2(2)=53$; $p<0,0001$; $V=0,088$) : dans le Tableau 45, nous constatons de nouveau que l'effet observé entre les structures #CV et VCV est nul quand la consigne est, comme dans l'expérience n°3, d'indiquer l'item le plus difficile à produire.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Consigne donnée (P)	Difficile	771 ; 33,5 ; 3	744 ; 32,3 ; 2	1941 ; 84,2 ; 6	3.456
	Facile	623 ; 27,0 ; 1	991 ; 43,0 ; 4	1842 ; 79,9 ; 5	3.456
Total		1.394	1.735	3.783	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 45 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction de la consigne donnée au participant (en excluant les consonnes isolées)

Il existe toujours une moyenne interaction de la consonne sur l'effet de la structure ($\chi^2(22)=116$; $p<0,0001$; $V=0,092$) : dans le Tableau 46, nous constatons que l'effet observé entre les structures #CV et VCV est de nouveau inversé pour les consonnes voisées /b/ et /z/, mais aussi /ʒ/. De plus, les résultats correspondent au hasard pour la structure VCV avec toutes les consonnes fricatives non voisées /s/, /ʃ/ et /f/.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Consonne (M)	v	88 ; 22,9 ; 1	150 ; 39,1 ; 18	338 ; 88,0 ; 35	576
	t	106 ; 27,6 ; 5,5	151 ; 39,3 ; 19	319 ; 83,1 ; 29	576
	s	100 ; 26,0 ; 3	200 ; 52,1 ; 24	276 ; 71,9 ; 26	576
	d	117 ; 30,5 ; 8	127 ; 33,1 ; 12,5	332 ; 86,5 ; 32	576
	p	102 ; 26,6 ; 4	138 ; 35,9 ; 17	336 ; 87,5 ; 34	576
	k	106 ; 27,6 ; 5,5	130 ; 33,9 ; 14	340 ; 88,5 ; 36	576
	ʃ	123 ; 32,0 ; 10	161 ; 41,9 ; 21	292 ; 76,0 ; 28	576
	b	125 ; 32,6 ; 11	121 ; 31,5 ; 9	330 ; 85,9 ; 31	576
	z	170 ; 44,3 ; 23	133 ; 34,6 ; 15	273 ; 71,1 ; 25	576
	f	90 ; 23,4 ; 2	162 ; 42,2 ; 22	324 ; 84,4 ; 30	576
	g	114 ; 29,7 ; 7	127 ; 33,1 ; 12,5	335 ; 87,2 ; 33	576
ʒ	153 ; 39,8 ; 20	135 ; 35,2 ; 16	288 ; 75,0 ; 27	576	
Total		1.394	1.735	3.783	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 46 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction de la consonne de l'item (en excluant les consonnes isolées)

Cette interaction de la consonne sur l'effet de la structure semble encore due à son voisement et à son mode articulaire. Cependant, l'interaction du voisement de la consonne sur cet effet apparaît négligeable ($\chi^2(2)=27$; $p<0,0001$; $V=0,062$) : dans le Tableau 47, il semble tout de même que la structure VCV soit de nouveau perçue comme plus difficile à produire avec une consonne non voisée.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Voisement (N)	Non voisée	627 ; 27,2 ; 1	942 ; 40,9 ; 4	1887 ; 81,9 ; 5	3.456
	Voisée	767 ; 33,3 ; 2	793 ; 34,4 ; 3	1896 ; 82,3 ; 6	3.456
Total		1.394	1.735	3.783	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N).

Tableau 47 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du voisement de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

De même, l'interaction du mode articulaire de la consonne sur l'effet de la structure apparaît négligeable ($\chi^2(2)=25$; $p<0,0001$; $V=0,060$) : dans le Tableau 48, il semble tout de

même que la structure VCV soit de nouveau perçue comme plus difficile à produire avec une consonne fricative.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Mode articulaire (N)	Fricative	724 ; 31,4 ; 2	941 ; 40,8 ; 4	1791 ; 77,7 ; 5	3.456
	Occlusive	670 ; 29,1 ; 1	794 ; 34,5 ; 3	1992 ; 86,5 ; 6	3.456
Total		1.394	1.735	3.783	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N).

Tableau 48 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du mode articulaire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

Enfin, l'interaction du lieu articulaire de la consonne sur l'effet de la structure apparaît toujours négligeable ($\chi^2(4)=21$; $p=0,0003$; $V=0,039$) : dans le Tableau 49, il semble tout de même que l'effet observé entre les structures #CV et VC# soit de nouveau plus important pour les consonnes antérieures.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Lieu articulaire (N)	Antérieure	405 ; 26,4 ; 1	571 ; 37,2 ; 5	1328 ; 86,5 ; 9	2.304
	Médiane	493 ; 32,1 ; 2	611 ; 39,8 ; 6	1200 ; 78,1 ; 7	2.304
	Postérieure	496 ; 32,3 ; 3	553 ; 36,0 ; 4	1255 ; 81,7 ; 8	2.304
Total		1.394	1.735	3.783	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N).

Tableau 49 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du lieu articulaire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

6.2.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées)

6.2.2.1. Pour tous les participants

Dans l'expérience n°2 d'auto-perception de la difficulté de production en parole chuchotée, dans laquelle seules les trois structures #CV, VCV et VC# sont étudiées, nous comptons 1.728 paires avec une opposition de structure. Dans ce cas, chacune des trois structures étudiées apparaît dans 1.152 paires. Nous observons un effet de la structure de l'item ($\chi^2(2)=349$; $p<0,0001$) : dans

le Tableau 50, nous constatons que la syllabe simple directe #CV est perçue comme la plus facile à produire, tandis que la syllabe simple indirecte VC# est perçue comme la plus difficile. De plus, les résultats correspondent au hasard pour le logatome dissyllabique VCV.

	Structure de l'item			Total
	#CV	VCV	VC#	
Toutes	289; 25,1; 1	533; 45,4; 2	906; 79,5; 3	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 50 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée, effet de la structure (sans consonnes isolées)

Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant sur cet effet ($\chi^2(2)=8$; $p=0,017$) mais nous observons une tendance : dans le Tableau 51, il semble que l'effet observé entre les structures #CV et VC# soit plus important chez les hommes.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Sexe du participant (N)	Femme	162; 28,1; 2	271; 47,0; 4	431; 74,8; 5	864
	Homme	127; 22,0; 1	252; 43,8; 3	485; 84,2; 6	864
Total		289	533	906	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième) ; proches du hasard en grisé.
Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 51 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée, effet de la structure en fonction du sexe du participant (sans consonnes isolées)

En revanche, il existe une petite interaction de la participation préalable à l'expérience n°1 en parole modale sur l'effet de la structure ($\chi^2(2)=14$; $p=0,0009$; $V=0,090$) : dans le Tableau 52, nous constatons que l'effet observé entre les structures #CV et VC# est moins important chez les participants ayant déjà réalisé une expérience d'auto-perception, bien que celle-ci ait eu lieu en moyenne 288 jours auparavant.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Participation à l'expérience n°1 (P)	Oui	168; 29,2; 2	273; 47,4; 4	423; 73,4; 5	864
	Non	121; 21,0; 1	250; 43,4; 3	493; 85,6; 6	864
Total		289	533	906	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 52 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet de la structure en fonction de la participation préalable à l'expérience n°1 en parole modale (sans consonnes isolées)

Il existe une grande interaction de la consonne sur l'effet de la structure ($\chi^2(22)=51$; $p=0,0005$; $V=0,121$) : dans le Tableau 53, nous constatons que les résultats correspondent au hasard pour les trois structures avec la consonne /s/. Cependant, nous ne pouvons pas attribuer cette interaction de la consonne à l'un de ses trois paramètres articulatoires. En effet, il n'existe pas d'interaction du voisement ($\chi^2(2)=7$; $p=0,03$), du mode articulatoire ($\chi^2(2)=2$; $p=0,30$) ou du lieu articulatoire ($\chi^2(4)=5$; $p=0,31$) de la consonne sur cet effet.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Consonne (G)	v	16; 16,7; 2,5	49; 51,0; 23	79; 82,3; 31	144
	s	12; 12,5; 1	59; 61,5; 25	73; 76,0; 26	144
	t	16; 16,7; 2,5	46; 47,9; 21,5	82; 85,4; 35,5	144
	p	18; 18,8; 4	46; 47,9; 21,5	80; 83,3; 32	144
	d	24; 25,0; 6,5	39; 40,6; 13,5	81; 84,4; 33,5	144
	k	30; 31,3; 11	40; 41,7; 15,5	74; 77,1; 27	144
	b	29; 30,2; 10	40; 41,7; 15,5	75; 78,1; 28	144
	j	24; 25,0; 6,5	43; 44,8; 18	77; 80,2; 30	144
	z	45; 46,9; 20	43; 44,8; 18	56; 58,3; 24	144
	f	25; 26,0; 8	43; 44,8; 18	76; 79,2; 29	144
	g	23; 24,0; 5	39; 40,6; 13,5	82; 85,4; 35,5	144
	3	27; 28,1; 9	36; 37,5; 12	81; 84,4; 33,5	144
Total		289	533	906	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : grande interaction (G) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 53 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée, effet de la structure en fonction de la consonne de l'item (sans consonnes isolées)

6.2.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception, lorsque nous considérons seulement les trois structures #CV, VCV et VC#, nous observons un effet de la structure de l'item ($\chi^2(2)=290$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 164, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de parole confondus, la structure #CV est perçue comme la plus facile à produire, suivie par la structure VCV, tandis que la structure VC# est perçue comme la plus difficile. Il existe une petite interaction du type de parole sur cet effet ($\chi^2(2)=9$; $p=0,009$; $V=0,074$) : dans le Tableau 54, nous constatons que, chez ces 12 participants témoins, l'effet observé entre les structures VCV et VC# est plus important dans l'expérience n°1 en parole modale que dans l'expérience n°2 en parole chuchotée. De plus, le résultat correspond au hasard pour la structure VCV en parole chuchotée.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Type de parole (P)	Modale (Exp. n°1)	172 ; 29,9 ; 2	217 ; 37,7 ; 3	475 ; 82,5 ; 6	864
	Chuchotée (Exp. n°2)	168 ; 29,2 ; 1	273 ; 47,4 ; 4	423 ; 73,4 ; 5	864
Total		340	490	898	1.728

*Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.*

Tableau 54 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception, effet de la structure en fonction du type de parole (sans consonnes isolées)

6.2.3. Expérience n°3

6.2.3.1. Pour tous les participants

6.2.3.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 3.456 paires d'items avec une opposition de structure. Dans ce cas, chacune des quatre structures étudiées apparaît donc dans 1.728 paires. Nous observons un effet de la structure de l'item ($\chi^2(3)=961$;

$p < 0,0001$) : dans le Tableau 165, disposé en annexe, nous constatons que le logatome dissyllabique simple VCV est perçu comme le plus facile à produire, suivi par la syllabe simple directe #CV, tandis que la consonne isolée #C# est perçue comme la plus difficile. De plus, les résultats correspondent au hasard pour la syllabe simple indirecte VC#. Il n'existe aucune interaction du sexe du participant ($\chi^2(3)=5$; $p=0,15$) ou de la participation préalable à l'expérience n°1 d'auto-perception ($\chi^2(3)=9$; $p=0,04$) sur cet effet : la perception de la difficulté de production d'une structure ne varie pas de manière significative entre les 24 participants témoins, du moins en fonction de ces deux paramètres. Il n'existe pas non plus d'interaction de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(3)=3$; $p=0,40$) et pour les hommes ($\chi^2(3)=1$; $p=0,74$).

Il n'existe pas non plus d'interaction de la consonne ($\chi^2(33)=44$; $p=0,10$), ni de son voisement ($\chi^2(3)=6$; $p=0,12$) ou de son lieu articulaire ($\chi^2(6)=11$; $p=0,09$), sur cet effet de la structure : la perception de la difficulté de production d'une structure ne varie pas de manière significative entre les consonnes en fonction de ces deux paramètres. Cependant, il existe une petite interaction du mode articulaire de la consonne sur l'effet de la structure ($\chi^2(3)=13$; $p=0,006$; $V=0,060$) : dans le Tableau 166, disposé en annexe, nous constatons que la structure VCV est perçue comme plus difficile à produire avec une consonne fricative.

6.2.3.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°3, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 1.728 paires d'items avec une opposition de structure. Dans ce cas, chacune des trois structures étudiées apparaît donc dans 1152 paires. Nous observons encore un effet de la structure de l'item sur l'hétéro-perception de la difficulté de production en parole modale ($\chi^2(2)=260$; $p < 0,0001$) : dans le Tableau 55, nous constatons que la structure VCV est de nouveau perçue comme la plus facile à produire, tandis que la structure VC# est perçue comme la plus difficile. De plus, les résultats correspondent au hasard pour la structure #CV. Il n'existe toujours pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(2)=4$; $p=0,13$) ou de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(2)=1$; $p=0,76$) et pour les hommes ($\chi^2(2)=0$; $p=0,79$), sur cet effet.

	Structure de l'item			Total
	#CV	VCV	VC#	
Toutes	529 ; 45,9 ; 2	329 ; 28,6 ; 1	870 ; 75,5 ; 3	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
 Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 55 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la structure (en excluant les consonnes isolées)

En revanche, il existe une petite interaction de la participation préalable à l'expérience n°1 d'auto-perception ($\chi^2(2)=9$; $p=0,0097$; $V=0,073$) : dans le Tableau 56, nous constatons que la structure #CV est perçue comme facile chez les participants ayant déjà réalisé une expérience de perception, bien que celle-ci ait eu lieu en moyenne 324 jours auparavant.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Participation à l'expérience n°1 (P)	Oui	241 ; 41,8 ; 3	157 ; 27,3 ; 1	466 ; 80,9 ; 6	864
	Non	288 ; 50,0 ; 4	172 ; 29,9 ; 2	404 ; 70,1 ; 5	864
Total		529	329	870	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
 Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 56 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction de la participation à l'expérience n°1 d'auto-perception (en excluant les consonnes isolées)

Il n'existe toujours pas d'interaction de la consonne ($\chi^2(22)=36$; $p=0,03$), ni de ses paramètres de voisement ($\chi^2(2)=5$; $p=0,08$) et de lieu articulaire ($\chi^2(4)=8$; $p=0,10$), sur cet effet de la structure. En revanche, il existe toujours une petite interaction du mode articulaire de la consonne sur l'effet de la structure ($\chi^2(2)=11$; $p=0,004$; $V=0,080$) : dans le Tableau 57, nous constatons que la structure VCV est de nouveau perçue comme plus difficile à produire avec une consonne fricative.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Mode articulaire (P)	Fricative	268 ; 46,5 ; 4	189 ; 32,8 ; 2	407 ; 70,7 ; 5	864
	Occlusive	261 ; 45,3 ; 3	140 ; 24,3 ; 1	463 ; 80,4 ; 6	864
Total		529	329	870	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
 Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 57 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du mode articulaire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

6.2.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

6.2.3.2.1. Avec consonnes isolées

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet de la structure de l'item ($\chi^2(3)=908$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 167, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les structures VCV et CV sont perçues indifféremment comme les plus faciles à produire, tandis que la structure VC# est perçue comme difficile et que la structure #C# est perçue comme la plus difficile. Il existe une petite interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(3)=41$; $p<0,0001$; $V=0,109$) : dans le Tableau 168, disposé en annexe, nous constatons que, chez ces 12 participants, la structure #CV est perçue comme plus difficile à produire que la structure VCV dans l'expérience n°1 d'auto-perception et inversement dans l'expérience n°2 d'hétéro-perception.

6.2.3.2.2. En excluant les consonnes isolées

Dans ce groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet de la structure de l'item ($\chi^2(2)=377$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 169, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les structures VCV et #CV sont de nouveau perçues indifféremment comme les plus faciles à produire, tandis que la structure VC# est perçue comme la plus difficile. Il existe toujours une petite interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(2)=27$; $p<0,0001$; $V=0,125$) : dans le Tableau 58, nous constatons de nouveau que, chez ces 12 participants, la structure #CV est perçue comme plus difficile à produire que la structure VCV dans l'expérience n°1 d'auto-perception et inversement dans l'expérience n°2 d'hétéro-perception.

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Type de perception (P)	Auto (Exp. n°1)	158 ; 27,4 ; 2	216 ; 37,5 ; 3	490 ; 85,1 ; 6	864
	Hétéro (Exp. n°3)	241 ; 41,8 ; 4	157 ; 27,3 ; 1	466 ; 80,9 ; 5	864
Total		399	373	956	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 58 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du type de perception (en excluant les consonnes isolées)

6.2.4. Résumé

Dans ces expériences de perception, lorsque nous analysons les oppositions portant sur la structure des items, nous observons toujours que les participants ont perçu les syllabes simples indirectes (VC#) comme les plus difficiles à produire, alors qu'ils ont perçu les syllabes simples directes (#CV) et les logatomes dissyllabiques simples (VCV) comme les plus faciles. Ils ont perçu la structure #CV, comprenant seulement deux phonèmes, comme plus facile que la structure VCV, qui en comprend trois, dans les tâches de lecture et inversement dans la tâche d'écoute. Lorsque les consonnes isolées (#C#) ont été présentées, elles ont toujours été perçues comme les plus difficiles à produire.

Dans les trois expériences, nous observons plusieurs interactions des critères de variation. D'abord, les nouveaux participants ont davantage perçu la structure #CV comme facile à produire. Par ailleurs, les participants qui avait reçu la consigne d'indiquer l'item le plus difficile dans la paire ont davantage perçu la structure VCV comme facile, en comparaison de la structure #CV. Cependant, pour ceux-ci, il persistait une interaction croisée du type de perception. Enfin, en parole chuchotée, la structure VCV a davantage été perçue comme difficile alors que la structure VC# a davantage été perçue comme facile.

Nous observons aussi que la structure VCV est davantage perçue comme difficile pour les consonnes fricatives. De plus, pour l'expérience n°1 d'auto-perception en parole modale, la structure VCV a davantage été perçue comme difficile pour les consonnes non voisées.

6.3. Comparaisons de la consonne

Nous présentons les résultats concernant uniquement les paires pour lesquelles l'opposition porte sur la consonne de l'item, sans faire de distinction entre les oppositions de voisement (voisée – non voisée), de mode articuloire (fricative – occlusive) et de lieu articuloire (antérieure – médiane, antérieure – postérieure et médiane – postérieure). Dans chaque paire, les deux items présentent exactement la même structure comme, par exemple, « ab – ap », « aza – ada », « f – s », « ab – ag » ou « fa – ja ». Lorsque nous considérons quatre structures, formant avec les 12 consonnes 48 items, c'est-à-dire que nous incluons les consonnes isolées #C#, notamment dans les expériences n°1 et n°3, nous prenons en compte 96 paires différentes qui sont toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 192 paires d'items par participant. Lorsque nous ne considérons que trois structures formant avec les 12 consonnes 36 items, c'est-à-dire que nous excluons les consonnes isolées #C#, comme dans l'expérience n°2, nous prenons en compte 72 paires différentes qui sont aussi toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 144 paires d'items par participant. Dans tous les cas, chacune des 12 consonnes étudiées apparaît dans une paire sur six. Dans les tableaux, pour améliorer la lisibilité, nous distribuons les consonnes de la plus facile à produire, à gauche, à la plus difficile, à droite.

6.3.1. Expérience n°1

6.3.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°1 d'auto-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 18.432 paires d'items avec une opposition de consonne. Dans ce cas, chacune des 12 consonnes apparaît donc dans 3.072 paires. Nous observons un effet de la consonne de l'item ($\chi^2(11)=475$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 170, disposé en annexe, nous constatons que la consonne /v/ est perçue comme la plus facile à produire, suivie indifféremment par les consonnes /s/ et /t/, puis par la consonne /f/, tandis que les consonnes /b/ et /f/ sont perçues indifféremment comme légèrement difficiles, la consonne /g/ est perçue comme moyennement difficile et la consonne /z/ est perçue

comme la plus difficile. De plus, les résultats correspondent au hasard pour les consonnes /d/, /p/, /k/ et /z/.

Il existe une petite interaction du sexe du participant sur cet effet de la consonne ($\chi^2(11)=48$; $p<0,0001$; $V=0,051$) : dans le Tableau 171, disposé en annexe, nous constatons que les consonnes non voisées /s/ et /p/ sont davantage perçues comme faciles chez les hommes.

Il existe aussi une petite interaction de l'âge du participant sur l'effet de la consonne ($\chi^2(11)=33$; $p=0,0005$; $V=0,043$) : dans le Tableau 172, disposé en annexe, nous constatons que la consonne /s/ est davantage perçue comme facile chez les participants les plus jeunes.

Enfin, il existe une petite interaction de la consigne donnée au participant sur l'effet de la consonne ($\chi^2(11)=34$; $p=0,0004$; $V=0,043$) : dans le Tableau 173, disposé en annexe, nous constatons notamment que la consonne /t/ est davantage perçue comme facile quand la consigne est, comme dans l'expérience n°3, d'indiquer l'item le plus difficile à produire.

Il existe une moyenne interaction de la structure sur l'effet de la consonne ($\chi^2(33)=196$; $p<0,0001$; $V=0,060$) : dans le Tableau 174, disposé en annexe, nous constatons que l'effet observé entre les consonnes fricatives voisées /v/ et /ʒ/ est plus important dans les structures #CV et VCV et que l'effet observé entre les consonnes postérieures voisées /ʒ/ et /g/ est nul dans les structures VC# et #C#. De plus, la consonne fricative apicale voisée /z/ est perçue comme facile alors que sa correspondante occlusive /d/ est perçue comme difficile dans la structure #C#. Par ailleurs, les consonnes fricatives non voisées /s/ et /ʃ/ sont perçues comme les plus faciles alors que la fricative voisée /v/ est davantage perçue comme difficile dans la structure #C#.

6.3.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°1, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 13.824 paires d'items avec une opposition de consonne. Dans ce cas, chacune des 12 consonnes étudiées apparaît donc dans 2.304 paires. Nous observons encore un effet de la consonne sur l'auto-perception de la difficulté de production en parole modale ($\chi^2(11)=433$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 59, page 160, nous constatons que la consonne /v/ est de nouveau perçue comme la plus facile à produire, suivie par la consonne /t/, puis par la consonne /s/ et, enfin, par la consonne /d/, tandis que la consonne /f/ est de nouveau perçue comme

légèrement difficile, la consonne /g/ est de nouveau perçue comme moyennement difficile et la consonne /z/ est de nouveau perçue comme la plus difficile. De plus, les résultats correspondent au hasard pour les consonnes /f/, /p/, /k/, /b/ et /z/.

Il existe toujours une petite interaction du sexe du participant sur cet effet de la consonne ($\chi^2(11)=39$; $p<0,0001$; $V=0,053$) : dans le Tableau 60, page 160, nous constatons que la consonne /k/ est perçue comme facile chez les femmes et que la consonne /p/ est de nouveau perçue comme facile chez les hommes.

Il existe aussi toujours une petite interaction de l'âge du participant sur cet effet ($\chi^2(11)=28$; $p=0,003$; $V=0,045$) : dans le Tableau 61, page 160, nous constatons que la consonne /p/ est perçue comme facile et la consonne /z/ est perçue comme difficile chez les participants les plus âgés. Par ailleurs, l'effet observé pour la consonne /d/ apparaît chez les participants les plus âgés.

Enfin, il existe toujours une petite interaction de la consigne donnée au participant sur cet effet ($\chi^2(11)=32$; $p=0,0008$; $V=0,048$) : dans le Tableau 62, page 161, nous constatons que la consonne /k/ est perçue comme facile et la consonne /b/ comme difficile quand la consigne est d'indiquer l'item le plus difficile à produire. De plus, l'effet observé entre les consonnes /t/ et /s/ est nul quand la consigne est d'indiquer, comme dans l'expérience n°2, l'item le plus facile à produire.

Il existe toujours une interaction de la structure de l'item sur l'effet de la consonne ($\chi^2(22)=73$; $p<0,0001$; $V=0,051$) : dans le Tableau 63, page 161, nous constatons que l'effet observé entre les consonnes fricatives voisées /v/ et /z/ est de nouveau plus important dans les structures #CV et VCV et que l'effet observé entre les consonnes postérieures voisées /g/ et /z/ est de nouveau nul dans la structure VC#.

	Consonne de l'item												Total
	v	t	s	d	p	k	ʃ	b	z	f	g	ʒ	
Total	778 ; 33,8 ; 1	936 ; 40,6 ; 2	1.004 ; 43,6 ; 3	1.064 ; 46,2 ; 4	1.095 ; 47,5 ; 5	1.100 ; 47,7 ; 6	1.120 ; 48,6 ; 7	1.206 ; 52,3 ; 8	1.224 ; 53,1 ; 9	1.305 ; 56,6 ; 10	1.437 ; 62,4 ; 11	1.555 ; 67,5 ; 12	13.824

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
 Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 59 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

		Consonne de l'item												Total
		v	t	s	d	p	k	ʃ	b	z	f	g	ʒ	
Sexe du participant (P)	Femme	359 ; 31,2 ; 1	419 ; 36,4 ; 2,5	544 ; 47,2 ; 9,5	544 ; 47,2 ; 9,5	597 ; 51,8 ; 15	509 ; 44,2 ; 6	562 ; 48,8 ; 12	595 ; 51,6 ; 14	610 ; 53,0 ; 16	656 ; 56,9 ; 20	719 ; 62,4 ; 22	798 ; 69,3 ; 24	6.912
	Homme	419 ; 36,4 ; 2,5	517 ; 44,9 ; 7	460 ; 39,9 ; 4	520 ; 45,1 ; 8	498 ; 43,2 ; 5	591 ; 51,3 ; 13	558 ; 48,4 ; 11	611 ; 53,0 ; 17	614 ; 53,3 ; 18	649 ; 56,3 ; 19	718 ; 62,3 ; 21	757 ; 65,7 ; 23	6.912
Total		778	936	1.004	1.064	1.095	1.100	1.120	1.206	1.224	1.305	1.437	1.555	18.432

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
 Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 60 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction du sexe du participant (en excluant les consonnes isolées)

		Consonne de l'item												Total
		v	t	s	d	p	k	ʃ	b	z	f	g	ʒ	
Age du participant (P)	Vieux	355 ; 30,8 ; 1	461 ; 40,0 ; 3	526 ; 45,7 ; 8	507 ; 44,0 ; 6	514 ; 44,6 ; 7	560 ; 48,6 ; 12	566 ; 49,1 ; 13	580 ; 50,3 ; 15	649 ; 56,3 ; 19	698 ; 60,6 ; 20	709 ; 61,5 ; 21	787 ; 68,3 ; 24	6.912
	Jeune	423 ; 36,7 ; 2	475 ; 41,2 ; 4	478 ; 41,5 ; 5	557 ; 48,4 ; 11	581 ; 50,4 ; 16	540 ; 46,9 ; 9	554 ; 48,1 ; 10	626 ; 54,3 ; 18	575 ; 49,9 ; 14	607 ; 52,7 ; 17	728 ; 63,2 ; 22	768 ; 66,7 ; 23	6.912
Total		778	936	1.004	1.064	1.095	1.100	1.120	1.206	1.224	1.305	1.437	1.555	18.432

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
 Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 61 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de l'âge du participant (en excluant les consonnes isolées)

		Consonne de l'item											Total	
		v	t	s	d	p	k	ʃ	b	z	f	g	ʒ	
Consigne donnée (P)	Difficile	366 ; 31,8 ; 1	424 ; 36,8 ; 3	509 ; 44,2 ; 5	532 ; 46,2 ; 9,5	561 ; 48,7 ; 12,5	514 ; 44,6 ; 7	600 ; 52,1 ; 16	645 ; 56,0 ; 18	584 ; 50,7 ; 14	656 ; 56,9 ; 20	724 ; 62,8 ; 22	797 ; 69,2 ; 24	6.912
	Facile	412 ; 35,8 ; 2	512 ; 44,4 ; 6	495 ; 43,0 ; 4	532 ; 46,2 ; 9,5	534 ; 46,4 ; 11	586 ; 50,9 ; 15	520 ; 45,1 ; 8	561 ; 48,7 ; 12,5	640 ; 55,6 ; 17	649 ; 56,3 ; 19	713 ; 61,9 ; 21	758 ; 65,8 ; 23	6.912
Total		778	936	1.004	1.064	1.095	1.100	1.120	1.206	1.224	1.305	1.437	1.555	18.432

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième) ; proches du hasard en grisé.

Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 62 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de la consigne donnée au participant (en excluant les consonnes isolées)

		Consonne de l'item											Total	
		v	t	s	d	p	k	ʃ	b	z	f	g	ʒ	
Structure (P)	#CV	218 ; 28,4 ; 1	298 ; 38,8 ; 4	328 ; 42,7 ; 8	350 ; 45,6 ; 11	346 ; 45,1 ; 10	356 ; 46,4 ; 15	399 ; 52,0 ; 23	421 ; 54,8 ; 26	452 ; 58,9 ; 29	417 ; 54,3 ; 25	477 ; 62,1 ; 33	546 ; 71,1 ; 36	4.608
	VCV	245 ; 31,9 ; 2	324 ; 42,2 ; 7	384 ; 50,0 ; 21	355 ; 46,2 ; 14	352 ; 45,8 ; 12,5	365 ; 47,5 ; 18	369 ; 48,0 ; 19	342 ; 44,5 ; 9	410 ; 53,4 ; 24	452 ; 58,9 ; 30	474 ; 61,7 ; 32	536 ; 69,8 ; 35	4.608
	VC#	315 ; 41,0 ; 6	314 ; 40,9 ; 5	292 ; 38,0 ; 3	359 ; 46,7 ; 16	397 ; 51,7 ; 22	379 ; 49,3 ; 20	352 ; 45,8 ; 12,5	443 ; 57,7 ; 28	362 ; 47,1 ; 17	436 ; 56,8 ; 27	486 ; 63,3 ; 34	473 ; 61,6 ; 31	4.608
Total		778	936	1.004	1.064	1.095	1.100	1.120	1.206	1.224	1.305	1.437	1.555	13.824

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 63 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées)

6.2.1.3. Consonnes étudiées dans l'expérience n°4

Dans l'expérience n°1, si nous prenons en compte uniquement les consonnes antérieures (/p/, /b/, /f/ et /v/) dans des structures où elles occupent une position pré-vocalique (#CV et VCV), telles que nous les étudions dans l'expérience n°4, nous comptons 1.536 paires avec une opposition de consonne. Cette opposition porte alors sur le voisement ou sur le mode articulaire. Dans ce cas, chacune des quatre consonnes étudiées apparaît dans une paire sur deux. Nous observons alors un effet de la consonne de l'item sur l'auto-perception de la difficulté de production en parole modale ($\chi^2(3)=14$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 64, nous constatons que la consonne /v/ est perçue comme la plus facile à produire, suivie par la consonne /p/, tandis que la consonne /b/ est perçue comme difficile et que la consonne /f/ est perçue comme la plus difficile.

	Consonne de l'item				Total
	v	p	b	f	
Toutes	280 ; 36,5 ; 1	306 ; 39,8 ; 2	459 ; 59,8 ; 3	491 ; 63,9 ; 4	1.536

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 64 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne, pour les consonnes étudiées dans l'expérience n°4

Il semble exister une interaction croisée entre le voisement et le mode articulaire pour ces quatre consonnes antérieures. En effet, dans les 768 paires avec une opposition de voisement, nous n'observons pas d'effet simple de ce paramètre articulaire sur la perception de la difficulté de production ($\chi^2(1)=2$; $p=0,14$). Cependant, il existe une moyenne interaction du mode articulaire de la consonne sur l'effet du voisement ($\chi^2(1)=47$; $p<0,0001$; $\phi=0,248$) : dans le Tableau 65, nous constatons qu'il existe notamment un effet du voisement pour les consonnes fricatives, avec la voisée /v/ perçue comme plus facile à produire que la non voisée /f/, tandis qu'une tendance inverse apparaît pour les consonnes occlusives.

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Mode articulaire (M)	Fricative	254 ; 66,1 ; 4	130 ; 33,9 ; 1	384
	Occlusive	159 ; 41,4 ; 2	225 ; 58,6 ; 3	384
Total		413	355	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 65 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du mode articulaire de la consonne, pour les consonnes étudiées dans l'expérience n°4

Par ailleurs, dans les 768 paires avec une opposition de mode articulaire, nous n'observons pas d'effet simple de ce paramètre articulaire sur la perception de la difficulté de production ($\chi^2(1)=0$; $p=0,88$). Cependant, il existe une moyenne interaction du voisement de la consonne sur l'effet du mode articulaire ($\chi^2(1)=39$; $p<0,0001$; $\varphi=0,227$) : dans le Tableau 66, nous constatons qu'il existe un effet du mode articulaire pour les consonnes voisées, avec la fricative /v/ perçue comme plus facile à produire que l'occlusive /b/, et qu'il existe un effet opposé pour les consonnes non voisées, avec la fricative /f/ perçue comme plus difficile à produire que l'occlusive /p/.

		Mode articulaire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Voisement (M)	Non voisée	237 ; 61,7 ; 4	147 ; 38,3 ; 1	384
	Voisée	150 ; 39,1 ; 2	234 ; 60,9 ; 3	384
Total		387	381	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 66 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction du voisement de la consonne, pour les consonnes étudiées dans l'expérience n°4

6.3.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées)

6.3.2.1. Pour tous les participants

Dans l'expérience n°2 d'auto-perception de la difficulté de production en parole chuchotée, dans laquelle seules trois structures #CV, VCV et VC# sont étudiées, nous comptons 3.446 paires avec une opposition de consonne. Dans ce cas, chacune des 12 consonnes apparaît donc dans 576

paires. Nous observons un effet de la consonne de l'item ($\chi^2(11)=162$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 67, page 165, nous constatons que la consonne /v/ est perçue comme la plus facile à produire, suivie indifféremment par les consonnes /s/ et /t/, tandis que les consonnes /z/, /f/ et /g/ sont indifféremment perçues comme difficiles et la consonne /ʒ/ est perçue comme la plus difficile. De plus, certains résultats correspondent au hasard, notamment pour les consonnes /k/ et /b/. Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(11)=13$; $p=0,27$) ou de la participation préalable à l'expérience n°1 ($\chi^2(11)=9$; $p=0,66$) sur cet effet : la perception d'une consonne ne varie pas de manière significative entre les 24 participants témoins, du moins en fonction de ces deux paramètres.

Il existe une moyenne interaction de la structure sur cet effet de la consonne ($\chi^2(22)=42$; $p=0,007$; $V=0,078$) : dans le Tableau 68, page 165, nous constatons que la consonne fricative apicale non voisée /s/ est davantage perçue comme facile dans la structure VC# et, dans une moindre mesure, dans la structure VCV, tandis que sa correspondante voisée /z/ est davantage perçue comme difficile dans la structure #CV. De plus, certains résultats correspondent au hasard, notamment pour /s/ dans la structure VCV et pour /z/ dans les structures VCV et #CV.

6.3.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception, nous observons un effet de la consonne de l'item ($\chi^2(11)=174$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 175, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de parole confondus, la consonne /v/ est perçue comme la plus facile à produire, suivie indifféremment par les consonnes /s/ et /t/, tandis que les consonnes /z/ et /g/ sont de nouveau perçues comme difficiles et que la consonne /ʒ/ est de nouveau perçue comme la plus difficile. De plus, certains résultats correspondent au hasard, notamment pour la consonne /f/. Cependant, il n'existe pas d'interaction du type de parole sur cet effet ($\chi^2(11)=8$; $p=0,74$) : chez ces 12 participants témoins, la perception d'une consonne ne varie pas de manière significative entre l'expérience n°1 en parole modale et l'expérience n°2 en parole chuchotée.

	Consonne de l'item												Total
	v	s	t	p	d	k	b	f	z	f	g	ʒ	
Total	186 ; 32,3 ; 1	203 ; 35,2 ; 2	213 ; 37,0 ; 3	257 ; 44,6 ; 4	266 ; 46,2 ; 5	283 ; 49,1 ; 6	291 ; 50,5 ; 7	330 ; 57,3 ; 8	341 ; 59,2 ; 9	349 ; 60,6 ; 10,5	349 ; 60,6 ; 10,5	388 ; 67,4 ; 12	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 67 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet de la consonne (sans consonnes isolées)

		Consonne de l'item												Total
		v	s	t	p	d	k	b	f	z	f	g	ʒ	
Structure (M)	#CV	56 ; 29,2 ; 2	58 ; 30,2 ; 3	74 ; 38,5 ; 8	76 ; 39,6 ; 9	90 ; 46,9 ; 13	98 ; 51,0 ; 19	97 ; 50,5 ; 17,5	114 ; 59,4 ; 28	130 ; 67,7 ; 35	118 ; 61,5 ; 31	113 ; 58,9 ; 27	128 ; 66,7 ; 34	1.152
	VCV	63 ; 32,8 ; 4	101 ; 52,6 ; 22	69 ; 35,9 ; 6	86 ; 44,8 ; 11	80 ; 41,7 ; 10	97 ; 50,5 ; 17,5	94 ; 49,0 ; 14	101 ; 52,6 ; 22	110 ; 57,3 ; 25	104 ; 54,2 ; 24	109 ; 56,8 ; 26	138 ; 71,9 ; 36	1.152
	VC#	67 ; 34,9 ; 5	44 ; 22,9 ; 1	70 ; 36,5 ; 7	95 ; 49,5 ; 15	96 ; 50,0 ; 16	88 ; 45,8 ; 12	100 ; 52,1 ; 20	115 ; 59,9 ; 29	101 ; 52,6 ; 22	127 ; 66,1 ; 33	127 ; 66,1 ; 30	122 ; 63,5 ; 32	1.152
Total		186	203	213	257	266	283	291	330	341	349	349	388	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 68 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet de la consonne en fonction de la structure de l'item (sans consonnes isolées)

6.3.3. Expérience n°3

6.3.3.1. Pour tous les participants

6.3.3.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 4.608 paires d'items avec une opposition de consonne. Dans ce cas, chacune des 12 consonnes apparaît donc dans 768 paires. Nous observons un effet de la consonne de l'item ($\chi^2(11)=212$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 176, disposé en annexe, nous constatons que la consonne /v/ est perçue comme la plus facile à produire, suivie par la consonne /t/, puis par la consonne /ʃ/, tandis que la consonne /g/ est perçue comme la plus difficile. De plus, nous observons que les résultats correspondent au hasard pour les consonnes /d/, /p/, /k/, /b/, /f/ et /ʒ/. Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(11)=18$; $p=0,08$) ou de la participation préalable à l'expérience n°1 ($\chi^2(11)=22$; $p=0,03$) sur cet effet : la perception de la difficulté de production d'une consonne ne varie pas de manière significative entre les 24 participants témoins, du moins en fonction de ces deux paramètres. Il n'existe pas non plus d'interaction de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(11)=8$; $p=0,73$) et pour les hommes ($\chi^2(11)=8$; $p=0,71$).

Il n'existe pas d'interaction de la structure de l'item sur cet effet de la consonne ($\chi^2(33)=52$; $p=0,0198$) mais nous observons une tendance : dans le Tableau 177, disposé en annexe, il semble que la consonne fricative apicale non voisée /s/ soit perçue comme facile dans la structure #C#, que sa correspondante voisée /z/ soit perçue comme difficile dans la structure #CV. Il semble aussi que la consonne /k/ soit perçue comme difficile dans la structure #C#. De plus, il semble que la consonne fricative labiale voisée /v/ soit perçue comme plus facile dans les structures #CV et VCV que dans les structures VC# et #C#.

6.3.3.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°3, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 3.456 paires d'items avec une opposition de consonne. Dans

ce cas, chacune des 12 consonnes étudiées apparaît donc dans 576 paires. Nous observons encore un effet de la structure de l’item sur l’hétéro-perception de la difficulté de production en parole modale ($\chi^2(11)=175$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 69, page 168, nous constatons de nouveau que la consonne /v/ est perçue comme la plus facile à produire, suivie par la consonne /t/, tandis qu’ici la consonne /z/ est perçue comme difficile et que la consonne /g/ est de nouveau perçue comme la plus difficile. De plus, certains résultats correspondent au hasard, notamment pour les consonnes /s/, /d/, /p/, /k/, /b/ et /ʒ/. Il n’existe toujours pas d’interaction du sexe du participant ($\chi^2(11)=16$; $p=0,15$), de la participation préalable à l’expérience n°1 ($\chi^2(11)=22$; $p=0,03$) ou de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(11)=4$; $p=0,96$) et pour les hommes ($\chi^2(11)=7$; $p=0,83$), sur cet effet. Par ailleurs, il n’existe pas d’interaction de la structure de l’item sur cet effet de la consonne lorsque nous excluons les consonnes isolées ($\chi^2(22)=24$; $p=0,35$).

6.3.3.2. Pour les participants issus de l’expérience n°1

6.3.3.2.1. Avec consonnes isolées

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet de la consonne de l’item ($\chi^2(11)=214$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 178, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les consonnes /v/ et /t/ sont perçues indifféremment comme les plus faciles à produire, suivies par la consonne /s/, tandis que la consonne /b/ est perçue comme légèrement difficile, la consonne /ʒ/ est perçue comme moyennement difficile et la consonne /g/ est perçue comme la plus difficile. De plus, les résultats correspondent au hasard pour les consonnes /d/, /p/, /z/ et /f/.

Il existe une petite interaction du type de perception sur cet effet de la consonne ($\chi^2(11)=33$; $p=0,0005$; $V=0,085$) : dans le Tableau 179, disposé en annexe, nous constatons que, chez ces 12 participants témoins, d’une part, les consonnes /t/ et /s/ sont perçues indifféremment comme les plus faciles à produire dans l’expérience n°1 d’auto-perception alors que la consonne /v/ est perçue comme la plus facile dans l’expérience n°3 d’hétéro-perception et, d’autre part, les consonnes /ʒ/ et /g/ sont perçues indifféremment comme les plus difficiles dans l’expérience n°1 alors que la consonne /g/ est perçue comme la plus difficile dans l’expérience n°3.

	Consonne de l'item												Total
	v	t	f	k	d	s	p	b	ʒ	f	z	g	
Total	171 ; 29,7 ; 1	221 ; 38,4 ; 2	252 ; 43,8 ; 3	270 ; 46,9 ; 4	271 ; 47,0 ; 5	275 ; 47,7 ; 6	276 ; 47,9 ; 7	298 ; 51,7 ; 8	307 ; 53,3 ; 9	326 ; 56,6 ; 10	343 ; 59,5 ; 11	446 ; 77,4 ; 12	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 69 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

		Consonne de l'item												Total
		v	t	s	k	f	z	d	p	f	b	ʒ	g	
Type de perception (ns)	Auto (Exp. n°1)	122 ; 42,4 ; 7	103 ; 35,8 ; 3	107 ; 37,2 ; 4	120 ; 41,7 ; 6	132 ; 45,8 ; 9	136 ; 47,2 ; 11	146 ; 50,7 ; 13	152 ; 52,8 ; 15,5	144 ; 50,0 ; 12	165 ; 57,3 ; 21	203 ; 70,5 ; 23	198 ; 68,8 ; 22	1.728
	Hétéro (Exp. n°3)	80 ; 27,8 ; 1	101 ; 35,1 ; 2	126 ; 43,8 ; 8	115 ; 39,9 ; 5	134 ; 46,5 ; 10	160 ; 55,6 ; 19,5	152 ; 52,8 ; 15,5	148 ; 51,4 ; 14	160 ; 55,6 ; 19,5	158 ; 54,9 ; 18	156 ; 54,2 ; 17	238 ; 82,6 ; 24	1.728
Total		202	204	233	235	266	296	298	300	304	323	359	436	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction non significative (ns) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 70 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, effet de la consonne en fonction du type de perception (en excluant les consonnes isolées)

6.3.3.2.2. En excluant les consonnes isolées

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet de la consonne de l'item ($\chi^2(11)=172$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 180, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les consonnes /v/ et /t/ sont de nouveau perçues indifféremment comme les plus faciles à produire, suivies par les consonnes /s/ et /k/, tandis que la consonne /z/ est de nouveau perçue comme difficile et que la consonne /g/ est de nouveau perçue comme la plus difficile. De plus, certains résultats correspondent au hasard, notamment pour les consonnes /ʃ/, /d/, /p/, /z/ et /f/.

Il n'existe pas ici d'interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(11)=23$; $p=0,016$) mais nous observons une tendance : dans le Tableau 70, page 168, il semble que, chez ces 12 participants témoins, l'effet observé entre la consonne fricative antérieure voisée /v/ et la consonne occlusive postérieure voisée /g/ soit plus important dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception que dans l'expérience n°1 d'auto-perception.

6.3.4. Résumé

Dans ces expériences de perception, lorsque nous analysons toutes les oppositions de consonnes, nous observons toujours que les participants témoins ont perçu les consonnes voisées, notamment /z, ʒ, g/, comme les plus difficiles à produire, alors qu'ils ont perçu les consonnes non voisées, notamment /t, s, ʃ/, comme les plus faciles. Nous notons encore cependant que la consonne voisée /v/ a presque systématiquement été perçue comme facile à produire, malgré son voisement. Nous notons aussi que la consonne /z/, transcrite par un symbole phonétique, a été perçue comme plus difficile à produire que la consonne /g/, transcrite par un graphème alphabétique, dans la tâche de lecture et inversement dans la tâche d'écoute. De plus, la consonne /v/ a davantage été perçue comme facile et la consonne /g/ a davantage été perçue comme difficile dans la tâche d'écoute.

Dans les trois expériences, nous observons l'interaction de différents critères de variation des participants, entraînant notamment la perception de davantage de facilité pour les consonnes non voisées. En effet, dans l'expérience n°1 d'auto-perception en parole modale, la consonne /s/ a

davantage été perçue comme facile pour les hommes et les participants les plus jeunes, la consonne /t/ pour les participants ayant reçu la consigne d'indiquer l'item le plus difficile, la consonne /p/ pour les hommes et les participants les plus vieux, ainsi que la consonne /k/ pour les femmes et les participants les plus vieux.

Enfin, nous notons une particularité pour les quatre consonnes antérieures /f, v, p, b/ qui sont utilisées dans l'expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques. Pour les fricatives, la consonne voisée /v/ a été perçue comme plus facile à produire que sa correspondante non voisée /f/, alors que, pour les occlusives, c'est la consonne non voisée /p/ qui a été perçue comme plus facile à produire que sa correspondante voisée /b/. Par ailleurs, pour les consonnes non voisées, l'occlusive /p/ a été perçue comme plus facile à produire que la fricative /f/, tandis que, pour les consonnes voisées, c'est la fricative /v/ qui a été perçue comme plus facile à produire que l'occlusive /b/.

6.4. Comparaisons du voisement

Nous présentons plus spécifiquement les résultats concernant les paires pour lesquelles l'opposition porte sur le voisement de la consonne entre les deux items. Nous étudions une seule opposition (voisée – non voisée). Dans chaque paire, les deux items présentent exactement la même structure et les deux consonnes présentent exactement le même mode et le même lieu articulaire comme, par exemple, « ab – ap ». Lorsque nous considérons quatre structures, formant avec les 12 consonnes 48 items, c'est-à-dire que nous incluons la consonne isolée #C#, notamment dans les expériences n°1 et n°3, nous prenons en compte 24 paires différentes qui sont toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 48 paires d'items par participant. Lorsque nous ne considérons que trois structures, formant avec les 12 consonnes 36 items, c'est-à-dire que nous excluons la consonne isolée #C#, comme dans l'expérience n°2, nous prenons en compte 18 paires différentes qui sont aussi toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 36 paires d'items par participant. Dans tous les cas, chacun des deux statuts du voisement étudiés apparaît dans toutes les paires. Dans tous les tableaux, afin de faciliter les comparaisons entre les différentes analyses, nous disposons systématiquement les consonnes non voisées à gauche et les consonnes voisées à droite.

6.4.1. Expérience n°1

6.4.1.1. Toutes les consonnes

6.4.1.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°1 d'auto-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 4.608 paires d'items avec une opposition de voisement. Nous observons un effet du voisement de la consonne ($\chi^2(1)=347$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 181, disposé en annexe, nous constatons que les consonnes voisées sont perçues comme les plus difficiles à produire dans 64% des cas. Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(1)=1$; $p=0,43$) ou de la consigne qui lui a été donnée ($\chi^2(1)=0$; $p=0,67$) sur cet effet : la perception d'une consonne selon son voisement ne varie pas de manière significative entre les 96 participants témoins en fonction de l'un de ces deux paramètres.

En revanche, il existe une interaction significative de l'âge du participant sur cet effet du voisement, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(1)=17$; $p<0,0001$; $\phi=0,060$) : dans le Tableau 182, disposé en annexe, il semble que l'effet observé soit plus important chez les participants les plus jeunes.

Il existe une petite interaction de la structure de l'item sur l'effet du voisement ($\chi^2(3)=50$; $p<0,0001$; $V=0,104$) : dans le Tableau 183, disposé en annexe, nous constatons que l'effet observé est plus important pour les consonnes isolées #C# et moins important pour les consonnes intervocaliques VCV.

Par ailleurs, il existe une interaction significative du mode articuloire de la consonne sur cet effet, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(1)=30$; $p<0,0001$; $V=0,081$) : dans le Tableau 184, disposé en annexe, il semble que l'effet soit plus important pour les consonnes occlusives. Pourtant, en ne tenant compte que des consonnes médianes /s, z, t, d/, présentant le même point d'articulation, nous n'observons pas cet effet ($\chi^2(1)=2$; $p=0,14$).

Il existe aussi une petite interaction du lieu articulatoire de la consonne sur l'effet du voisement ($\chi^2(2)=157$; $p<0,0001$; $V=0,185$) : dans le Tableau 185, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus important pour les consonnes postérieures et qu'il est nul pour les consonnes antérieures.

6.4.1.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°1, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 3.456 paires d'items avec une opposition de voisement. Nous observons encore un effet du voisement de la consonne sur l'auto-perception de la difficulté de production en parole modale ($\chi^2(1)=171$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 71, nous constatons que les consonnes voisées sont de nouveau perçues comme les plus difficiles à produire, ici dans 61% des cas. Il n'existe toujours pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(1)=0$; $p=0,78$) ou de la consigne qui lui a été donnée ($\chi^2(1)=1$; $p=0,24$) sur cet effet.

	Voisement de la consonne		Total
	Non voisée	Voisée	
Toutes	1.344 ; 38,9 ; 1	2.112 ; 61,1 ; 2	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 71 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement (en excluant les consonnes isolées)

En revanche, il existe toujours une interaction significative de l'âge du participant sur cet effet du voisement, même si celle-ci apparaît encore négligeable ($\chi^2(1)=10$; $p=0,002$; $\phi=0,053$) : dans le Tableau 72, il semble que l'effet observé soit de nouveau plus important chez les participants les plus jeunes.

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Age du participant (N)	Vieux	717 ; 41,5 ; 2	1011 ; 58,5 ; 3	1.728
	Jeunes	627 ; 36,3 ; 1	1101 ; 63,7 ; 4	1.728
Total		1.344	2.112	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction négligeable (N).

Tableau 72 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de l'âge du participant (en excluant les consonnes isolées)

Il n'existe ici pas d'interaction significative de la structure sur l'effet du voisement, bien que nous observions une tendance ($\chi^2(2)=9$; $p=0,0103$) : dans le Tableau 73, il semble que l'effet soit de nouveau moins important pour les consonnes intervocaliques VCV.

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Structure (ns)	#CV	416 ; 36,1 ; 1	736 ; 63,9 ; 6	1.152
	VCV	486 ; 42,2 ; 3	666 ; 57,8 ; 4	1.152
	VC#	442 ; 38,4 ; 2	710 ; 61,6 ; 5	1.152
Total		1.344	2.112	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction non significative (ns).

Tableau 73 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées)

Par ailleurs, il existe ici une petite interaction du mode articulaire de la consonne sur l'effet du voisement ($\chi^2(1)=41$; $p<0,0001$; $V=0,109$) : dans le Tableau 74, nous constatons que l'effet est effectivement plus important pour les consonnes occlusives. Cependant, là encore, si nous ne tenons compte que des consonnes médianes /s, z, t, d/, présentant le même point d'articulation, nous n'observons pas cet effet du mode articulaire ($\chi^2(1)=2$; $p=0,16$).

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Mode articulaire (P)	Fricative	764 ; 44,2 ; 2	964 ; 55,8 ; 3	1.728
	Occlusive	580 ; 33,6 ; 1	1148 ; 66,4 ; 4	1.728
Total		1.344	2.112	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 74 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du mode articulaire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

Il existe aussi toujours une petite interaction du lieu articulaire de la consonne sur cet effet ($\chi^2(2)=146$; $p<0,0001$; $V=0,206$) : dans le Tableau 75, nous constatons que l'effet est de nouveau plus important pour les consonnes postérieures et qu'il est de nouveau nul pour les consonnes antérieures.

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Lieu articulaire (P)	Antérieure	592 ; 51,4 ; 4	560 ; 48,6 ; 3	1.152
	Médiane	443 ; 38,5 ; 2	709 ; 61,5 ; 5	1.152
	Postérieure	309 ; 26,8 ; 1	843 ; 73,2 ; 6	1.152
Total		1.344	2.112	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 75 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du lieu articulaire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

6.4.1.2. Fricatives labiodentales

6.4.1.2.1. Avec consonnes isolées

Pour les consonnes fricatives labiodentales (antérieures) /f/ et /v/, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet du voisement ($\chi^2(1)=11$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 186, disposé en annexe, nous constatons cette fois-ci que la consonne non voisée /f/ est perçue comme la plus difficile à produire dans 56% des cas. Cependant, les résultats diffèrent peu du hasard.

Il existe une petite interaction de la structure sur cet effet du voisement pour les consonnes /f/ et /v/ ($\chi^2(3)=48$; $p<0,0001$; $V=0,250$) : dans le Tableau 187, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus grand pour les consonnes en position intervocalique VCV que pour les consonnes en position initiale #CV et qu'il est inversé pour les consonnes isolées #C#.

6.4.1.2.2. En excluant les consonnes isolées

Pour ces consonnes fricatives antérieures /f/ et /v/, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet du voisement ($\chi^2(1)=36$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 76, nous constatons de nouveau que la consonne non voisée /f/ est perçue comme la plus difficile à produire, ici dans 63% des cas.

	Voisement de la consonne fricative labiodentale		Total
	Non voisée /f/	Voisée /v/	
Toutes	360 ; 62,5 ; 2	216 ; 37,5 ; 1	576

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 76 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes fricatives labiodentales (en excluant les consonnes isolées)

Il n'existe pas ici d'interaction significative de la structure sur cet effet du voisement pour les consonnes /f/ et /v/ ($\chi^2(2)=9$; $p=0,013$), mais nous observons une tendance : dans le Tableau 77, il semble que l'effet soit toujours plus grand pour les consonnes en position intervocalique VCV que pour les consonnes en position initiale #CV.

		Voisement de la consonne fricative labiodentale		Total
		Non voisée /f/	Voisée /v/	
Structure	#CV	120 ; 62,5 ; 6	72 ; 37,5 ; 3	192
	VCV	134 ; 69,8 ; 8	58 ; 30,2 ; 1	192
	VC#	106 ; 55,2 ; 5	86 ; 44,8 ; 4	192
Total		430	338	576

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction non significative (ns) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 77 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la structure de l'item, pour les consonnes fricatives labiodentales (en excluant les consonnes isolées)

6.4.1.3. Occlusives bilabiales

6.4.1.3.1. Avec consonnes isolées

Pour les consonnes occlusives bilabiales (antérieures) /p/ et /b/, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet du voisement ($\chi^2(1)=41$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 188, disposé en annexe, nous constatons que la consonne voisée /b/ est perçue comme la plus difficile à produire dans 62% des cas.

Il existe une petite interaction de la structure sur cet effet du voisement pour les consonnes /p/ et /b/ ($\chi^2(3)=13$; $p=0,004$; $V=0,131$) : dans le Tableau 189, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus grand pour les consonnes isolées #C# ou en position initiale #CV, tandis qu'il est nul pour les consonnes en position intervocalique VCV.

6.4.1.3.2. En excluant les consonnes isolées

Pour ces consonnes occlusives antérieures /p/ et /b/, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet du voisement ($\chi^2(1)=22$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 78, nous constatons de nouveau que la consonne voisée /b/ est perçue comme la plus difficile à produire, ici dans 60% des cas.

	Voisement de la consonne occlusive bilabiale		Total
	Non voisée /p/	Voisée /b/	
Toutes	232 ; 40,3 ; 1	344 ; 59,7 ; 2	576

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 78 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes occlusives bilabiales (en excluant les consonnes isolées)

Il existe toujours une petite interaction de la structure sur cet effet du voisement pour les consonnes /p/ et /b/ ($\chi^2(2)=10$; $p=0,008$; $V=0,130$) : dans le Tableau 79, nous constatons de nouveau que l'effet est plus grand pour les consonnes en position initiale #CV et qu'il est nul pour les consonnes en position intervocalique VCV.

		Voisement de la consonne occlusive bilabiale		Total
		Non voisée /p/	Voisée /b/	
Structure (P)	#CV	65 ; 33,9 ; 2	127 ; 66,1 ; 7	192
	VCV	94 ; 49,0 ; 4	98 ; 51,0 ; 5	192
	VC#	73 ; 38,0 ; 3	119 ; 62,0 ; 6	192
Total		232	344	576

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 79 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la structure de l'item, pour les consonnes occlusives bilabiales (en excluant les consonnes isolées)

6.4.1.4. Fricatives apico-alvéolaires

6.4.1.4.1. Avec consonnes isolées

Pour les consonnes fricatives apico-alvéolaires (médianes) /s/ et /z/, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet du voisement

($\chi^2(1)=44$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 190, disposé en annexe, nous constatons que la consonne voisée /z/ est perçue comme la plus difficile à produire dans 62% des cas.

Il existe une petite interaction de la structure sur cet effet du voisement pour les consonnes /s/ et /z/ ($\chi^2(3)=13$; $p=0,004$; $V=0,132$) : dans le Tableau 191, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus grand pour les consonnes isolées #C# et en position initiale #CV, tandis qu'il est presque nul pour les consonnes en position intervocalique VCV.

6.4.1.4.2. En excluant les consonnes isolées

Pour ces consonnes fricatives médianes /s/ et /z/, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet du voisement ($\chi^2(1)=21$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 80, nous constatons de nouveau que la consonne voisée /z/ est perçue comme la plus difficile à produire, ici dans 60% des cas. En revanche, il n'existe pas ici d'interaction de la structure sur cet effet ($\chi^2(2)=7$; $p=0,03$).

	Voisement de la consonne fricative apico-alvéolaire		Total
	Non voisée /s/	Voisée /z/	
Toutes	233 ; 40,5 ; 1	343 ; 59,5 ; 2	576

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 80 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes fricatives apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)

6.4.1.5. Occlusives apico-alvéolaires

6.4.1.5.1. Avec consonnes isolées

Pour les consonnes occlusives apico-alvéolaires (médianes) /t/ et /d/, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet du voisement ($\chi^2(1)=75$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 192, disposé en annexe, nous constatons que la consonne voisée /d/ est perçue comme la plus difficile à produire dans 66% des cas. Il n'existe pas d'interaction de la structure sur cet effet ($\chi^2(3)=5$; $p=0,14$).

6.4.1.5.2. En excluant les consonnes isolées

Pour ces consonnes occlusives médianes /t/ et /d/, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet du voisement ($\chi^2(1)=22$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 81, nous constatons de nouveau que la consonne voisée /d/ est perçue comme la plus difficile à produire, ici dans 64% des cas. Il n'existe toujours pas d'interaction de la structure sur cet effet ($\chi^2(2)=1$; $p=0,62$).

	Voisement de la consonne occlusive apico-alvéolaire		Total
	Non voisée /t/	Voisée /d/	
Toutes	210 ; 36,5 ; 1	366 ; 63,5 ; 2	576

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 81 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes occlusives apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)

6.4.1.6. Fricatives apico-post-alvéolaires

6.4.1.6.1. Avec consonnes isolées

Pour les consonnes fricatives apico-post-alvéolaires (postérieures) /ʃ/ et /ʒ/, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet du voisement ($\chi^2(1)=169$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 193, disposé en annexe, nous constatons que la consonne voisée /ʒ/ est perçue comme la plus difficile à produire dans 73% des cas.

Il existe une petite interaction de la structure sur cet effet du voisement pour les consonnes /ʃ/ et /ʒ/ ($\chi^2(3)=12$; $p=0,007$; $V=0,125$) : dans le Tableau 194, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus grand pour les consonnes isolées #C# que pour les consonnes en position initiale #CV et pour ces dernières que pour les consonnes en position finale VC# ou intervocalique VCV.

6.4.1.6.2. En excluant les consonnes isolées

Pour ces consonnes fricatives postérieures /ʃ/ et /ʒ/, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet du voisement ($\chi^2(1)=95$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 82, nous constatons de nouveau que la consonne voisée

/ʒ/ est perçue comme la plus difficile à produire, ici dans 70% des cas. En revanche, il n'existe pas ici d'interaction de la structure sur cet effet ($\chi^2(2)=0$; $p=0,84$).

	Voisement de la consonne fricative apico-post-alvéolaire		Total
	Non voisée /ʃ/	Voisée /ʒ/	
Toutes	171 ; 29,7 ; 1	405 ; 70,3 ; 2	576

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 82 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes fricatives apico-post-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)

6.4.1.7. Occlusives dorso-vélaires

6.4.1.7.1. Avec consonnes isolées

Pour les consonnes occlusives dorso-vélaires (postérieures) /k/ et /g/, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet du voisement ($\chi^2(1)=142$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 195, disposé en annexe, nous constatons que la consonne voisée /g/ est perçue comme la plus difficile à produire dans 71% des cas. Il n'existe pas d'interaction de la structure sur cet effet ($\chi^2(3)=8$; $p=0,05$).

6.4.1.7.2. En excluant les consonnes isolées

Pour ces consonnes occlusives postérieures /k/ et /g/, lorsque nous excluons les consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet du voisement ($\chi^2(1)=97$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 83, nous constatons de nouveau que la consonne voisée /g/ est perçue comme la plus difficile à produire, ici dans 70% des cas. Il n'existe toujours pas d'interaction de la structure sur cet effet ($\chi^2(2)=8$; $p=0,22$).

	Voisement de la consonne occlusive dorso-vélaire		Total
	Non voisée /k/	Voisée /g/	
Toutes	170 ; 29,5 ; 1	406 ; 70,5 ; 2	576

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 83 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes occlusives dorso-vélaires (en excluant les consonnes isolées)

6.4.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées)

6.4.2.1. Pour tous les participants

Dans l'expérience n°2 d'auto-perception de la difficulté de production en parole chuchotée, dans laquelle seules trois structures #CV, VCV et VC# sont étudiées, nous comptons 864 paires avec une opposition de voisement. Nous observons un effet du voisement de la consonne ($\chi^2(1)=49$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 84, nous constatons que les consonnes voisées sont perçues comme les plus difficiles à produire dans 62% des cas. Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(1)=1$; $p=0,23$) ou de la participation préalable à l'expérience n°1 ($\chi^2(1)=2$; $p=0,18$) sur cet effet : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son voisement ne varie pas de manière significative entre les 24 participants témoins, du moins en fonction de ces deux paramètres.

	Voisement de la consonne		Total
	Non voisée	Voisée	
Toutes	329 ; 38,1 ; 1	535 ; 61,9 ; 2	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 84 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du voisement (sans consonnes isolées)

Il n'existe pas d'interaction de la structure de l'item sur cet effet du voisement ($\chi^2(1)=1$; $p=0,64$) : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son voisement ne varie pas de manière significative entre les structures #CV, VCV et VC#.

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Mode articulaire (N)	Fricative	184 ; 42,6 ; 2	248 ; 57,4 ; 3	432
	Occlusive	145 ; 33,6 ; 1	287 ; 66,4 ; 4	432
Total		329	535	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 85 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du voisement en fonction du mode articulaire de la consonne (sans consonnes isolées)

Par ailleurs, il existe une interaction significative du mode articuloire de la consonne sur l'effet du voisement, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(1)=7$; $p=0,006$; $\phi=0,093$) : dans le Tableau 85, nous constatons que l'effet est plus important pour les consonnes occlusives.

Il existe aussi une moyenne interaction du lieu articuloire de la consonne sur cet effet ($\chi^2(2)=42$; $p<0,0001$; $V=0,219$) : dans le Tableau 86, nous constatons que l'effet est plus important pour les consonnes linguales (médianes et postérieures) alors qu'il est nul pour les consonnes antérieures.

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Lieu articuloire (M)	Antérieure	153 ; 53,1 ; 4	135 ; 46,9 ; 3	288
	Médiane	86 ; 29,9 ; 1	202 ; 70,1 ; 6	288
	Postérieure	90 ; 31,3 ; 2	198 ; 68,8 ; 5	288
Total		329	535	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 86 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du voisement en fonction du lieu articuloire de la consonne (sans consonnes isolées)

6.4.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception, nous observons un effet du voisement de la consonne ($\chi^2(11)=174$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 196, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de parole confondues, les consonnes voisées sont aussi perçues comme les plus difficiles à produire, ici dans 68% des cas.

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Type de parole (N)	Modale (Exp. n°1)	119 ; 27,5 ; 1	313 ; 72,5 ; 4	432
	Chuchotée (Exp. n°2)	155 ; 35,9 ; 2	277 ; 64,1 ; 3	432
Total		274	590	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N).

Tableau 87 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception, effet du voisement en fonction du type de parole (sans consonnes isolées)

Il existe une interaction significative du type de parole sur cet effet, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(1)=7$; $p=0,009$; $\phi=0,090$) : dans le Tableau 87, il semble que l'effet soit plus important dans l'expérience n°1 en parole modale que dans l'expérience n°2 en parole chuchotée.

6.4.3. Expérience n°3

6.4.3.1. Pour tous les participants

6.4.3.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 1.152 paires d'items avec une opposition de voisement. Nous observons un effet du voisement de la consonne ($\chi^2(1)=78$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 197, disposé en annexe, nous constatons que les consonnes voisées sont perçues comme les plus difficiles à produire dans 63% des cas. Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(1)=2$; $p=0,18$) sur l'effet du voisement : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son voisement ne varie pas de manière significative entre les 24 participants en fonction de ce paramètre. Il n'y a pas d'interaction de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(1)=0$; $p=0,73$) et pour les hommes ($\chi^2(1)=3$; $p=0,08$).

En revanche, il existe une interaction significative de la participation préalable à l'expérience n°1 sur cet effet du voisement, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(1)=7$; $p=0,007$; $\phi=0,079$) : dans le Tableau 198, disposé en annexe, il semble que l'effet soit plus important pour les participants ayant déjà réalisé une expérience de perception en parole modale, bien que celle-ci ait eu lieu en moyenne 324 jours auparavant.

Il n'existe pas d'interaction de la structure de l'item sur l'effet du voisement ($\chi^2(3)=4$; $p=0,25$) : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son voisement ne varie pas de manière significative entre les structures #CV, VCV, VC# et #C#.

En revanche, il existe une petite interaction du mode articulatoire de la consonne sur l'effet du voisement ($\chi^2(1)=19$; $p<0,0001$; $\phi=0,129$) : dans le Tableau 199, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus important pour les consonnes occlusives.

Il existe aussi une petite interaction du lieu articulatoire de la consonne sur cet effet ($\chi^2(2)=29$; $p<0,0001$; $V=0,160$) : dans le Tableau 200, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus important pour les consonnes postérieures et qu'il est nul pour les consonnes antérieures.

6.4.3.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°3, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 864 paires d'items avec une opposition de voisement. Nous observons encore un effet du voisement de la consonne ($\chi^2(1)=66$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 88, nous constatons que les consonnes voisées sont perçues comme les plus difficiles à produire, ici dans 64% des cas. Il n'existe toujours pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(1)=0$; $p=0,52$) ou de la voix perçue pour les femmes ($\chi^2(1)=0$; $p=0,49$) sur cet effet.

	Voisement de la consonne		Total
	Non voisée	Voisée	
Toutes	313 ; 36,2 ; 1	551 ; 63,8 ; 2	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 88 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement (en excluant la consonne isolée)

Il n'existe pas non plus d'interaction significative de la voix perçue pour les hommes sur cet effet du voisement ($\chi^2(1)=6$; $p=0,016$) mais nous observons une tendance : dans le Tableau 89, il semble que l'effet soit plus important pour la voix du locuteur z.

		Voisement de la consonne		Total		
		Non voisée	Voisée			
Voix perçue (ns)	Femmes	a	84 ; 38,4 ; 3	132 ; 61,1 ; 6	432	
		b	77 ; 35,6 ; 2	139 ; 64,4 ; 7		
	Hommes	y	88 ; 40,7 ; 4	128 ; 59,3 ; 5	216	432
		z	64 ; 29,6 ; 1	152 ; 70,4 ; 8	216	
Total			313	551	864	

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction non significative (ns) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 89 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la voix perçue, chez les femmes et chez les hommes (en excluant les consonnes isolées)

Concernant les voix perçues chez les hommes, dans la Figure 21, il semble que la durée des voyelles, pré-consonantiques et post-consonantiques, soit plus courte pour la voix **z**. En revanche, il ne semble pas y avoir de différence de durée pour les consonnes. Chez les deux locuteurs, les consonnes voisées sont plus courtes que les consonnes non voisées et les voyelles précédant les consonnes voisées sont plus longues que les voyelles précédant les consonnes non voisées.

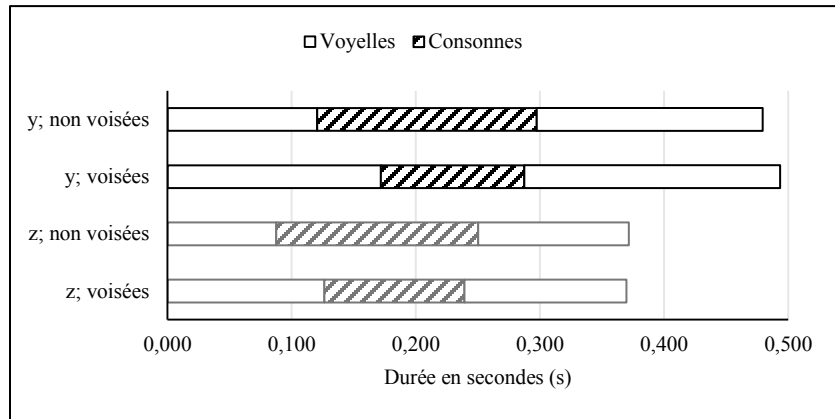


Figure 21 : expérience n°3 d'hétéro perception en parole modale ; durées segmentales en fonction du voisement des consonnes, pour les voix perçues, chez les hommes

Cependant, sur la Figure 22, représentant les taux de voisement (V%) il semble que le voisement dans les consonnes soit plus difficile chez le locuteur **z** : chez lui, les consonnes non voisées apparaissent totalement dévoisées et les consonnes voisées apparaissent partiellement dévoisées.

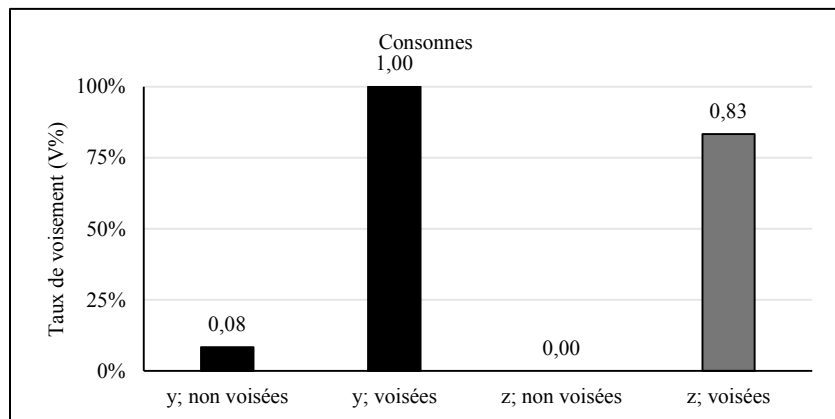


Figure 22 : expérience n°3 d'hétéro perception en parole modale ; taux de voisement en fonction du voisement des consonnes, pour les voix perçues, chez les hommes

Du fait de la limitation de durée des voyelles et des dévoisements, qui affectent les consonnes ainsi que les voyelles, chez le locuteur **z**, peu de données acoustiques ont pu être mesurées au niveau du centre de gravité de ces voyelles, en particulier pour les items comportant des consonnes non voisées. Cependant l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en décibels (dB) est largement plus basse chez ce locuteur **z**, avec une moyenne (m) de 1dB que chez le locuteur **y** ($m=11$ dB), ce qui indique une voix plus pressée chez le premier, alors que leur fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) est équivalente ($m=42$ dT). Ces résultats nous laissent à penser que, chez lui, les plis vocaux sont plus compressés, probablement sous l'action des muscles thyro-aryténoïdiens (TA).

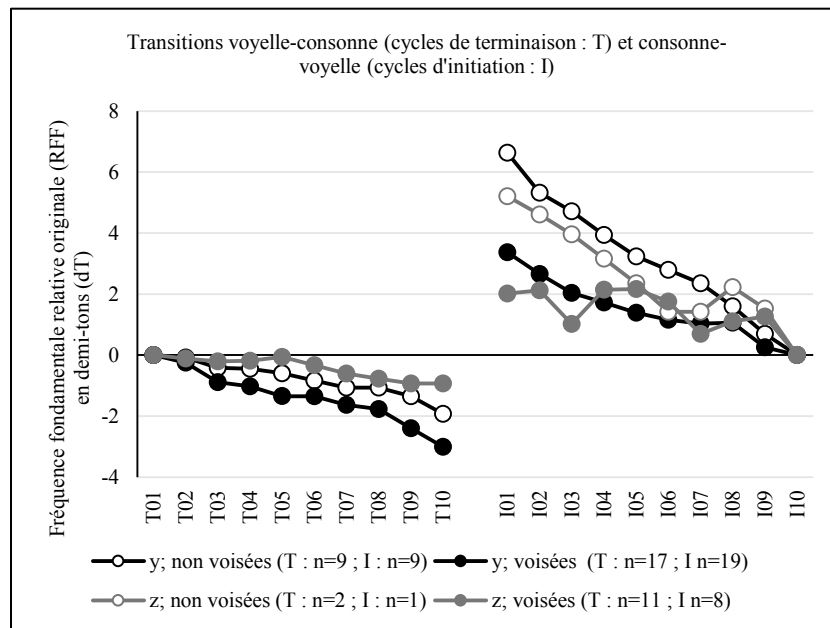


Figure 23 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; fréquence fondamentale relative originale en fonction du voisement des consonnes, pour les voix perçues, chez les hommes

Au niveau des transitions entre voyelles et consonnes, dans la Figure 23, il semble que la courbe de fréquence fondamentale relative mesurée selon la méthode originale (RFF), à l'initiation des consonnes voisées, soit plus haute pour le locuteur **z**. Par ailleurs, bien que peu de données aient pu être exploitées, la courbe de RFF à la terminaison des consonnes non voisées semble plus basse pour ce même locuteur. Sur la Figure 24, la fréquence fondamentale relative mesurée selon notre méthode adaptée (RFF_a), à la terminaison des consonnes voisées, semble aussi plus haute pour le locuteur **z**. Ces résultats nous laissent

encore une fois à penser que la contraction des muscles intrinsèques du larynx, et notamment du muscle vocal thyro-aryténoïdien (TA), est plus importante pour le locuteur **z**.

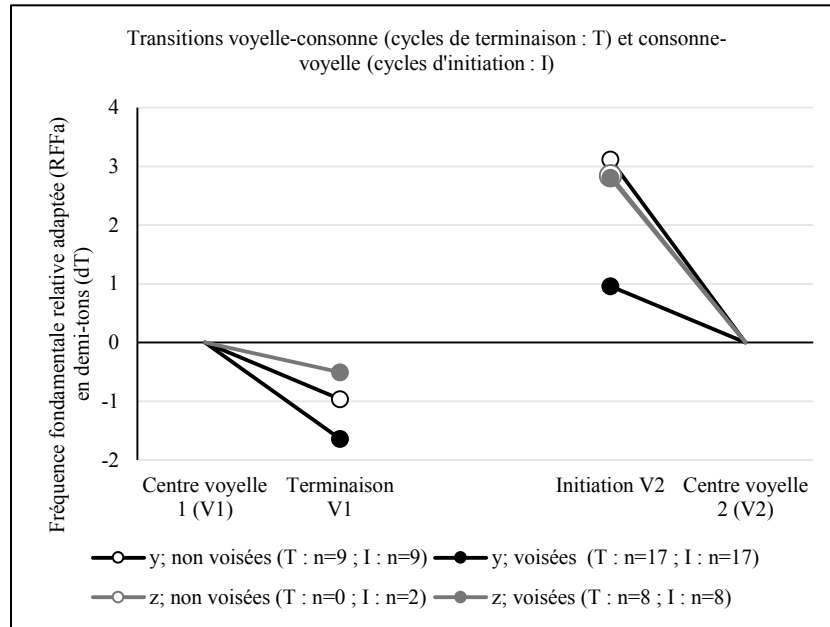


Figure 24 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, pour les voix perçues, chez les hommes

Par ailleurs, il existe effectivement une petite interaction de la participation préalable à l'expérience n°1 sur l'effet du voisement ($\chi^2(1)=10 ; p=0,0014 ; \phi=0,108$) : dans le Tableau 90, nous constatons que l'effet est plus important pour les participants ayant déjà réalisé une expérience de perception en parole modale, bien que celle-ci ait eu lieu en moyenne 324 jours auparavant.

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Participation à l'expérience n°1 (P)	Oui	134 ; 31,0 ; 1	298 ; 69,0 ; 4	432
	Non	179 ; 41,4 ; 2	253 ; 58,6 ; 3	432
Total		313	551	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 90 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la participation préalable à l'expérience n°1 d'auto-perception (en excluant les consonnes isolées)

Il n'existe toujours pas d'interaction de la structure de l'item sur l'effet du voisement ($\chi^2(2)=3$; $p=0,20$). En revanche, il existe toujours une petite interaction du mode articuloire de la consonne sur l'effet du voisement ($\chi^2(1)=21$; $p<0,0001$; $\varphi=0,157$) : dans le Tableau 91, nous constatons de nouveau que l'effet est plus important pour les consonnes occlusives.

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Mode articuloire (P)	Fricative	189 ; 43,8 ; 2	243 ; 56,3 ; 3	432
	Occlusive	124 ; 28,7 ; 1	308 ; 71,3 ; 4	432
Total		313	551	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 91 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du mode articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

Il existe aussi une moyenne interaction du lieu articuloire de la consonne sur cet effet ($\chi^2(2)=35$; $p<0,0001$; $V=0,202$) : dans le Tableau 92, nous constatons de nouveau que l'effet est plus important pour les consonnes postérieures et qu'il est nul pour les consonnes antérieures.

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Lieu articuloire (M)	Antérieure	141 ; 49,0 ; 3	147 ; 51,0 ; 4	288
	Médiane	99 ; 34,4 ; 2	189 ; 65,6 ; 5	288
	Postérieure	73 ; 25,3 ; 1	215 ; 74,7 ; 6	288
Total		313	551	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 92 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du lieu articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

6.4.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

6.4.3.2.1. Avec consonnes isolées

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet du voisement de la consonne ($\chi^2(1)=229$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 201, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de perception

confondus, les consonnes voisées sont aussi perçues comme les plus difficiles à produire dans 72% des cas. Il existe une petite interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(1)=17$; $p<0,0001$; $\phi=0,122$) : dans le Tableau 202, disposé en annexe, nous constatons que, chez ces 12 participants témoins, l'effet est plus important dans l'expérience n°1 d'auto-perception que dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception.

6.4.3.2.2. En excluant les consonnes isolées

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet du voisement de la consonne ($\chi^2(1)=171$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 203, disposé en annexe, nous constatons de nouveau que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les consonnes voisées sont perçues comme les plus difficiles à produire, ici dans 72% des cas. Cependant, il n'existe pas ici d'interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(1)=5$; $p=0,03$) : chez ces 12 participants témoins, la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son voisement ne varie pas de manière significative entre l'expérience n°1 d'auto-perception et l'expérience n°3 d'hétéro-perception, lorsque les consonnes isolées sont exclues.

6.4.4. Résumé

Dans ces expériences de perception, lorsque nous ne considérons que les oppositions portant sur le voisement de la consonne, nous observons que les consonnes voisées ont toujours été perçues comme les plus difficiles à produire, excepté dans les paires de fricatives labiodentales /v-f/. De ce fait, l'effet du voisement apparaît nul pour les consonnes antérieures et moins important pour les consonnes fricatives que pour les consonnes occlusives. Cependant, dans l'expérience n°1 d'auto-perception en parole modale, nous observons un effet similaire entre les fricatives et les occlusives médianes, avec les consonnes voisées /z/ et /d/ perçues comme plus difficiles à produire que leurs correspondantes non voisées respectives /s/ et /t/ dans environ 60% des cas, et entre les fricatives et les occlusives postérieures, avec les consonnes voisées /ʒ/ et /g/ perçues comme plus difficiles à produire que leurs correspondantes respectives non voisées /ʃ/ et /k/ dans environ 70% des cas. Dans toutes les expériences, l'effet du voisement est plus important pour les consonnes

postérieures que pour les consonnes médianes. Par ailleurs, dans l'expérience n°1, l'effet du voisement est plus important pour les consonnes isolées (#C#) et moins important pour les consonnes intervocaliques (VCV).

L'effet du voisement est plus important dans la première expérience d'auto-perception de la parole modale que dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception ou dans l'expérience n°2 en parole chuchotée, chez les individus ayant participé à deux expériences. Cependant, il semble que cette interaction soit due à l'effet de nouveauté. En effet, lorsque nous ne considérons que les nouveaux participants dans les trois expériences, nous obtenons un effet similaire avec les consonnes voisées perçues comme plus difficiles à produire que les non voisées dans environ 60% des cas. Par ailleurs, dans l'expérience n°1, l'effet du voisement est plus important chez les participants les plus jeunes.

Enfin, dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale, chez les hommes, l'effet du voisement est plus important pour la voix du locuteur *z* qui semble présenter un effort phonatoire plus important que le locuteur *y*.

6.5. Comparaisons du mode articulatoire

Nous présentons plus spécifiquement les résultats concernant les paires pour lesquelles l'opposition porte sur le mode articulatoire de la consonne entre les deux items. Nous étudions une seule opposition (fricative-occlusive). Dans chaque paire, les deux items présentent exactement la même structure et les deux consonnes présentent exactement le même statut de voisement. Pour les consonnes médianes, les deux items présentent également le même lieu articulatoire apico-alvéolaire comme, par exemple, « aza – ada ». Nous présentons, à part, les résultats pour ces consonnes. En revanche, pour les consonnes antérieures et postérieures, les deux items ne présentent pas le même lieu articulatoire : les consonnes fricatives labiodentales sont opposées aux consonnes occlusives bilabiales et les consonnes fricatives apico-post-alvéolaires sont opposées aux consonnes occlusives dorso-vélaires. Lorsque nous considérons quatre structures, formant avec les 12 consonnes 48 items, c'est-à-dire que nous incluons la consonne isolée #C#, notamment dans les expériences n°1 et n°3, nous prenons en compte 24 paires différentes qui sont toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 48 paires d'items par participant. Lorsque nous ne considérons que trois structures, formant avec les 12 consonnes 36 items, c'est-à-dire que nous

excluons la consonne isolée #C#, comme dans l'expérience n°2, nous prenons en compte 18 paires différentes qui sont aussi toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 36 paires d'items par participant. Dans tous les cas, chacun des deux modes articulatoires de la consonne apparaît dans toutes les paires. Dans les tableaux, afin de faciliter les comparaisons entre les différentes analyses, nous présentons systématiquement les consonnes fricatives à gauche et les occlusives à droite.

6.5.1. Expérience n°1

6.5.1.1. Avec consonnes isolées

6.5.1.1.1. Toutes les consonnes

Dans l'expérience n°1 d'auto-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 4.608 paires d'items avec une opposition de mode articulatoire. Nous observons un effet du mode articulatoire de la consonne ($\chi^2(1)=25$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 204, disposé en annexe, nous constatons que les consonnes occlusives sont perçues comme les plus difficiles à produire dans 54% dans cas. Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(1)=3$; $p=0,07$) ou de la consigne qui lui a été donnée ($\chi^2(1)=1$; $p=0,34$) sur cet effet : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon le mode articulatoire ne varie pas de manière significative entre les 96 participants en fonction de l'un de ces deux paramètres.

En revanche, il existe une petite interaction de l'âge du participant sur cet effet du mode articulatoire ($\chi^2(1)=58$; $p<0,0001$; $\phi=0,112$) : dans le Tableau 205, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est nul chez les participants les plus âgés.

Il existe une moyenne interaction de la structure de l'item sur l'effet du mode articulatoire ($\chi^2(3)=239$; $p<0,0001$; $V=0,228$) : dans le Tableau 206, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus important pour les consonnes isolées #C# que pour les consonnes postvocaliques VC#, qu'il est nul pour les consonnes pré-vocaliques #CV et qu'il est inversé pour les consonnes intervocaliques VCV.

Par ailleurs, il n'existe pas d'interaction significative du voisement de la consonne sur l'effet du mode articuloire ($\chi^2(1)=2$; $p=0,12$) : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon le mode articuloire ne varie pas de manière significative entre les consonnes voisées et non voisées.

En revanche, il existe une interaction significative du lieu articuloire sur cet effet, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(2)=11$; $p=0,004$; $V=0,049$) : dans le Tableau 207, disposé en annexe, il semble que l'effet soit nul pour les consonnes linguales (médianes et postérieures).

6.5.1.1.2. Consonnes apico-alvéolaires

Si nous prenons en compte uniquement les consonnes médianes /t/, /d/, /s/ et /z/ qui présentent exactement le même lieu articuloire (apico-alvéolaire), avec les quatre structures étudiées, nous comptons 1.536 paires. Nous n'observons pas alors d'effet simple du mode articuloire, bien qu'il existe une tendance ($\chi^2(1)=6$; $p=0,012$) : dans le Tableau 208, disposé en annexe, il semble que les consonnes occlusives soient aussi perçues comme les plus difficiles à produire. Il n'existe toujours pas d'interaction de la consigne donnée au participant sur cet effet ($\chi^2(1)=1$; $p=0,28$).

Il existe alors une interaction significative du sexe du participant sur cet effet du mode articuloire pour les consonnes médianes, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(1)=8$; $p=0,004$; $V=0,074$) : dans le Tableau 209, disposé en annexe, nous constatons que la tendance est confirmée chez les hommes.

Par ailleurs, il existe toujours une petite interaction de l'âge du participant sur cet effet ($\chi^2(1)=18$; $p<0,0001$; $V=0,108$) : dans le Tableau 210, disposé en annexe, nous constatons que la tendance est confirmée chez les participants les plus jeunes.

Il existe alors une grande interaction de la structure de l'item sur l'effet du mode articuloire pour les consonnes médianes ($\chi^2(3)=142$; $p=0,004$; $V=0,304$) : dans le Tableau 211, disposé en annexe, nous constatons que la tendance est confirmée dans la structure #C#, qu'elle est annulée dans les structures #CV et VC# et qu'elle est inversée dans la structure VCV. En revanche, il n'existe toujours pas d'interaction du voisement de la consonne sur cet effet ($\chi^2(1)=0$; $p=0,51$).

6.5.1.2. En excluant les consonnes isolées

6.5.1.2.1. Toutes les consonnes

Dans cette expérience n°1, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, toutes consonnes confondues, nous comptons 3.456 paires d'items avec une opposition de mode articulaire. Nous n'observons pas d'effet significatif du mode articulaire de la consonne sur l'auto-perception de la difficulté de production en parole modale, bien qu'il existe une tendance inverse à l'effet observé lorsque la structure #C# est incluse ($\chi^2(1)=6$; $p=0,012$) : dans le Tableau 93, il semble que les consonnes fricatives soient perçues comme les plus difficiles à produire dans 52% des cas. Il n'existe toujours pas d'interaction de la consigne donnée au participant sur cet effet ($\chi^2(1)=2$; $p=0,20$).

	Mode articulaire de la consonne		Total
	Fricative	Occlusive	
Toutes	1.802 ; 52,1 ; 2	1.654 ; 47,9 ; 1	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 93 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articulaire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

Il n'existe toujours pas non plus d'interaction du sexe du participant sur l'effet du mode articulaire, bien que nous observions une tendance ($\chi^2(1)=6$; $p=0,014$) : dans le Tableau 94, il semble que les consonnes fricatives soient perçues comme les plus difficiles à produire chez les femmes.

		Mode articulaire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Sexe du participant	Femme	937 ; 54,2 ; 4	791 ; 45,8 ; 1	1.728
	Homme	865 ; 50,1 ; 3	863 ; 49,9 ; 2	1.728
Total		1.802	1.654	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction non significative (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 94 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articulaire en fonction du sexe du participant (en excluant les consonnes isolées)

En revanche, il existe toujours une petite interaction de l'âge du participant sur cet effet ($\chi^2(1)=36$; $p<0,0001$; $\phi=0,102$) : dans le Tableau 95, nous constatons que la tendance est confirmée chez les participants les plus âgés.

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Age du participant (P)	Vieux	989 ; 57,2 ; 4	739 ; 42,8 ; 1	1.728
	Jeune	813 ; 47,0 ; 2	915 ; 53,0 ; 3	1.728
Total		1.802	1.654	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 95 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articuloire en fonction de l'âge du participant (en excluant les consonnes isolées)

Il existe ici une petite interaction de la structure sur cet effet du mode articuloire ($\chi^2(2)=53$; $p<0,0001$; $V=0,124$) : dans le Tableau 96, nous constatons que la tendance est confirmée pour les consonnes intervocaliques VCV mais qu'elle est inversée pour les consonnes postvocaliques VC#.

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Structure (P)	#CV	632 ; 54,9 ; 4	520 ; 45,1 ; 3	1.152
	VCV	668 ; 58,0 ; 6	484 ; 42,0 ; 1	1.152
	VC#	502 ; 43,6 ; 2	650 ; 56,4 ; 5	1.152
Total		1.802	1.654	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 96 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articuloire en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées)

Par ailleurs, il n'existe toujours pas d'interaction significative du voisement de la consonne sur l'effet du mode articuloire, bien que nous observions une tendance ($\chi^2(1)=6$; $p=0,014$) : dans le Tableau 97, il semble que les fricatives soient perçues comme les plus difficiles à produire lorsqu'elles sont non voisées.

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Voisement (ns)	Non voisée	937 ; 54,2 ; 4	791 ; 45,8 ; 1	1.728
	Voisée	865 ; 50,1 ; 3	863 ; 49,9 ; 2	1.728
Total		1.802	1.654	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction non significative (ns) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 97 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articuloire en fonction du voisement de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

En revanche, il existe une petite interaction du lieu articuloire sur cet effet ($\chi^2(2)=19$; $p<0,0001$; $V=0,073$) : dans le Tableau 98, il semble que les consonnes fricatives soient perçues comme les plus difficiles à produire lorsqu'elles sont linguales (médianes et postérieures).

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Lieu articuloire (P)	Antérieure	541 ; 47,0 ; 3	611 ; 53,0 ; 4	1.152
	Médiane	630 ; 54,7 ; 5	522 ; 45,3 ; 2	1.152
	Postérieure	631 ; 54,8 ; 6	521 ; 45,2 ; 1	1.152
Total		1.802	1.654	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 98 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articuloire en fonction du lieu articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

6.5.1.2.2. Consonnes apico-alvéolaires

Si nous prenons en compte uniquement les consonnes médianes /t/, /d/, /s/ et /z/ qui présentent le même lieu articuloire (apico-alvéolaire), après exclusion des consonnes isolées #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 1.152 paires. Nous observons alors un effet du mode articuloire de la consonne ($\chi^2(1)=10$; $p=0,0015$) : dans le Tableau 99, nous constatons que les consonnes fricatives sont effectivement perçues comme les plus difficiles à produire dans 55% des cas. Il n'existe toujours pas d'interaction de la consigne donnée au participant sur cet effet ($\chi^2(1)=1$; $p=0,48$).

	Mode articuloire de la consonne apico-alvéolaire		Total
	Fricative	Occlusive	
Toutes	630 ; 54,7 ; 2	522 ; 45,3 ; 1	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l’item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l’item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l’item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 99 : expérience n°1 d’auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire, pour les consonnes apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)

Il existe effectivement une petite interaction du sexe du participant sur l’effet du mode articuloire ($\chi^2(1)=8$; $p=0,004$; $V=0,074$) : dans le Tableau 100, nous constatons que l’effet est nul chez les hommes.

		Mode articuloire de la consonne apico-alvéolaire		Total
		Fricative	Occlusive	
Sexe du participant (P)	Femme	344 ; 59,7 ; 4	232 ; 40,3 ; 1	576
	Homme	286 ; 49,7 ; 2	290 ; 50,3 ; 3	576
Total		630	522	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l’item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l’item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l’item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 100 : expérience n°1 d’auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du sexe du participant, pour les consonnes apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)

Par ailleurs, il existe alors une petite interaction de l’âge du participant sur cet effet ($\chi^2(1)=17$; $p<0,0001$; $V=0,122$) : dans le Tableau 101, nous constatons pourtant que l’effet est nul chez les participants les plus jeunes.

		Mode articuloire de la consonne apico-alvéolaire		Total
		Fricative	Occlusive	
Age du participant (P)	Vieux	350 ; 60,8 ; 4	226 ; 39,2 ; 1	576
	Jeune	280 ; 48,6 ; 2	296 ; 51,4 ; 3	576
Total		630	522	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l’item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l’item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l’item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 101 : expérience n°1 d’auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de l’âge du participant, pour les consonnes apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)

Il n’existe ici qu’une petite interaction de la structure de l’item sur l’effet du mode articuloire ($\chi^2(2)=27$; $p=0,004$; $V=0,153$) : dans le Tableau 102, nous constatons que cet effet est nul dans les structures #CV et VC#. Par ailleurs, il n’existe toujours pas d’interaction du voisement sur cet effet ($\chi^2(1)=1$; $p=0,34$).

		Mode articuloire de la consonne apico-alvéolaire		Total
		Fricative	Occlusive	
Structure (P)	#CV	226 ; 58,9 ; 5	158 ; 41,1 ; 2	384
	VCV	235 ; 61,2 ; 6	149 ; 38,8 ; 1	384
	VC#	169 ; 44,0 ; 3	215 ; 56,0 ; 4	384
Total		630	522	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 102 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de la structure de l'item, pour les consonnes apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)

6.5.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées)

6.5.2.1. Pour tous les participants

Dans l'expérience n°2 d'auto-perception de la difficulté de production en parole chuchotée, dans laquelle seules trois structures #CV, VCV et VC# sont étudiées, nous comptons 864 paires avec une opposition de mode articuloire. Nous observons un effet du mode articuloire de la consonne ($\chi^2(1)=22$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 103, nous constatons que les consonnes fricatives sont perçues comme les plus difficiles à produire dans 58% des cas.

	Mode articuloire de la consonne		Total
	Fricative	Occlusive	
Toutes	501 ; 58,0 ; 2	363 ; 42,0 ; 1	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 103 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du mode articuloire (sans consonnes isolées)

Il existe une petite interaction du sexe du participant sur cet effet du mode articuloire ($\chi^2(1)=9$; $p=0,003$; $\phi=0,101$) : dans le Tableau 104, nous constatons que l'effet est important chez les femmes alors qu'il est nul chez les hommes.

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Sexe du participant (P)	Femme	272 ; 63,0 ; 4	160 ; 37,0 ; 1	432
	Homme	229 ; 53,0 ; 3	203 ; 47,0 ; 2	432
Total		501	363	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 104 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du mode articuloire en fonction du sexe du participant (sans consonnes isolées)

Il existe aussi une interaction significative de la participation préalable à l'expérience n°1 sur cet effet, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(1)=8$; $p=0,005$; $\varphi=0,096$) : dans le Tableau 105, il semble que l'effet soit nul chez les participants ayant déjà réalisé une expérience d'auto-perception, bien que celle-ci ait eu lieu en moyenne 288 jours auparavant.

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Participation à l'expérience n°1 (N)	Oui	230 ; 53,2 ; 3	202 ; 46,8 ; 2	432
	Non	271 ; 62,7 ; 4	161 ; 37,3 ; 1	432
Total		501	363	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 105 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du mode articuloire en fonction de la participation préalable à l'expérience n°1 en parole modale (sans consonnes isolées)

Il existe une petite interaction de la structure de l'item sur l'effet du mode articuloire ($\chi^2(2)=13$; $p=0,002$; $V=0,120$) : dans le Tableau 106, nous constatons que l'effet est important dans la structure VCV mais qu'il est nul dans la structure VC#.

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Structure (P)	#CV	172 ; 59,7 ; 5	116 ; 40,3 ; 2	288
	VCV	185 ; 64,2 ; 6	103 ; 35,8 ; 1	288
	VC#	144 ; 50,0 ; 4,5	144 ; 50,0 ; 4,5	288
Total		501	363	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 106 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du mode articuloire en fonction de la structure de l'item (sans consonnes isolées)

Par ailleurs, il n'existe pas d'interaction du voisement de la consonne ($\chi^2(1)=5 ; p=0,03$) ou de son lieu articulaire ($\chi^2(2)=1 ; p=0,74$) sur cet effet : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son mode articulaire ne varie pas de manière significative en fonction de ces deux autres paramètres articulatoires.

6.5.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception, nous n'observons pas d'effet simple du mode articulaire de la consonne ($\chi^2(1)=4 ; p=0,06$). Il n'existe pas non plus d'interaction du type de parole sur cet effet ($\chi^2(1)=0 ; p>0,9999$) : chez ces 12 participants témoins, la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son mode articulaire ne varie strictement pas entre l'expérience n°1 en parole modale et l'expérience n°2 en parole chuchotée.

6.5.3. Expérience n°3

6.5.3.1. Pour tous les participants

6.5.3.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 1.152 paires d'items avec une opposition de mode articulaire. Nous observons un effet du mode articulaire de la consonne ($\chi^2(1)=69 ; p<0,0001$) : dans le Tableau 212, disposé en annexe, nous constatons que les consonnes occlusives sont perçues comme les plus difficiles à produire dans 62% des cas. Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(1)=2 ; p=0,16$) sur l'effet du mode articulaire : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son mode articulaire ne varie pas de manière significative entre les 24 participants témoins en fonction de ce paramètre. Il n'y a pas d'interaction de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(1)=0 ; p=0,67$) et pour les hommes ($\chi^2(1)=3 ; p=0,60$), au niveau intra-individuel.

En revanche, il existe une interaction significative de la participation préalable à l'expérience n°1 sur cet effet du mode articulaire, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(1)=9 ; p=0,003 ;$

$\varphi=0,088$) : dans le Tableau 213, disposé en annexe, il semble que l'effet soit plus important pour les participants ayant déjà réalisé une expérience de perception en parole modale, bien que celle-ci ait eu lieu en moyenne 324 jours auparavant.

Il existe une moyenne interaction de la structure de l'item sur l'effet du mode articulaire ($\chi^2(3)=64$; $p<0,0001$; $V=0,237$) : dans le Tableau 214, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus important pour les consonnes isolées #C# et qu'il est nul pour les consonnes pré-vocaliques #CV et intervocaliques VCV.

Par ailleurs, il existe une petite interaction du voisement de la consonne sur l'effet du mode articulaire ($\chi^2(1)=31$; $p<0,0001$; $\varphi=0,163$) : dans le Tableau 215, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus important pour les consonnes voisées.

Il existe aussi une petite interaction du lieu articulaire de la consonne sur cet effet ($\chi^2(2)=20$; $p<0,0001$; $V=0,132$) : dans le Tableau 216, disposé en annexe, nous constatons que l'effet est plus important pour les consonnes postérieures et qu'il est nul pour les consonnes médianes.

6.5.3.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°3, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 864 paires d'items avec une opposition de mode articulaire. Nous observons encore un effet du mode articulaire de la consonne ($\chi^2(1)=14$; $p=0,0012$) : dans le Tableau 107, nous constatons que les consonnes occlusives sont perçues comme les plus difficiles à produire et ce dans 56% des cas. Il n'existe toujours pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(1)=0$; $p=0,78$) ou de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(1)=0$; $p=0,92$) et pour les hommes ($\chi^2(1)=0$; $p=0,50$), sur l'effet du mode articulaire.

	Mode articulaire de la consonne		Total
	Fricative	Occlusive	
Toutes	378 ; 43,8 ; 1	486 ; 56,3 ; 2	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 107 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articulaire (en excluant les consonnes isolées)

En revanche, il existe toujours une interaction significative de la participation préalable à l'expérience n°1 sur cet effet du mode articulaire, même si celle-ci apparaît encore négligeable ($\chi^2(1)=8$; $p=0,004$; $\varphi=0,098$) : dans le Tableau 108, il semble de nouveau que l'effet soit plus important pour les participants ayant déjà réalisé une expérience de perception en parole modale.

		Mode articulaire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Participation à l'expérience n°1 (N)	Oui	168 ; 38,9 ; 1	264 ; 61,1 ; 4	432
	Non	210 ; 48,6 ; 2	222 ; 51,4 ; 3	432
Total		378	486	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 108 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction de la participation préalable à l'expérience n°1 d'auto-perception (en excluant les consonnes isolées)

Il persiste une petite interaction de la structure de l'item sur l'effet du mode articulaire ($\chi^2(2)=11$; $p=0,004$; $V=0,114$) : dans le Tableau 109, nous constatons que l'effet existe seulement dans la structure VC# et qu'il est nul dans les structures #CV et VCV.

		Mode articulaire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Structure (P)	#CV	137 ; 47,6 ; 2	151 ; 52,4 ; 5	288
	VCV	138 ; 47,9 ; 3	150 ; 52,1 ; 4	288
	VC#	103 ; 35,8 ; 1	185 ; 64,2 ; 6	288
Total		378	486	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 109 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées)

Par ailleurs, il existe ici une moyenne interaction du voisement de la consonne sur l'effet du mode articulaire ($\chi^2(1)=35$; $p<0,0001$; $\varphi=0,201$) : dans le Tableau 110, nous constatons de nouveau que l'effet est plus important pour les consonnes voisées.

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Voisement (M)	Non voisée	232 ; 53,7 ; 3	200 ; 46,3 ; 2	432
	Voisée	146 ; 33,8 ; 1	286 ; 66,2 ; 4	432
Total		378	486	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 110 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du voisement de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

Il existe aussi toujours une petite interaction du lieu articuloire de la consonne sur cet effet ($\chi^2(2)=24$; $p<0,0001$; $V=0,167$) : dans le Tableau 111, nous constatons de nouveau que l'effet est plus important pour les consonnes postérieures et qu'il est nul pour les consonnes médianes.

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Lieu articuloire (P)	Antérieure	119 ; 41,3 ; 2	169 ; 58,7 ; 5	288
	Médiane	158 ; 54,9 ; 4	130 ; 45,1 ; 3	288
	Postérieure	101 ; 35,1 ; 1	187 ; 64,9 ; 6	288
Total		378	486	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 111 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du lieu articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

6.5.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

6.5.3.2.1. Avec consonnes isolées

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet du mode articuloire de la consonne ($\chi^2(1)=79$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 217, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les consonnes occlusives sont perçues comme les plus difficiles à produire dans 63% des cas. Il n'existe pas d'interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(1)=6$; $p=0,017$) mais nous observons une tendance : dans le Tableau 218, disposé en annexe, il semble que, chez ces 12

participants, l'effet soit plus important dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception que dans l'expérience n°1 d'auto-perception.

6.5.3.2.2. En excluant les consonnes isolées

Dans ce groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet du mode articulaire de la consonne ($\chi^2(1)=21 ; p<0,0001$) : dans le Tableau 219, nous constatons de nouveau que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les consonnes occlusives sont perçues comme les plus difficiles à produire, ici dans 58% des cas. Cependant, il n'existe pas ici d'interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(1)=4 ; p=0,05$) : chez ces 12 participants, la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son mode articulaire ne varie pas de manière significative entre l'expérience n°1 d'auto-perception et l'expérience n°3 d'hétéro-perception lorsque les consonnes isolées sont exclues.

6.5.4. Résumé

Dans ces expériences de perception, lorsque nous considérons uniquement les oppositions portant sur le mode articulaire de la consonne, nous n'observons pas d'effet systématique. En effet, les consonnes occlusives semblent perçues comme plus difficiles à produire que les fricatives chez les hommes, chez les participants les plus âgés, chez les individus ayant déjà participé à l'expérience n°1, pour les consonnes isolées (#C#), voire postvocaliques (VC#). Au contraire, les consonnes fricatives semblent perçues comme plus difficiles à produire que les occlusives chez les femmes, chez les participants les plus vieux, pour les consonnes non voisées et pour les consonnes intervocaliques (VCV). Par ailleurs, dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale, l'effet du mode articulaire, c'est-à-dire la perception des consonnes occlusives comme plus difficiles à produire que les fricatives, est plus important pour les consonnes postérieures /ʃ, ʒ, k, g/.

6.6. Comparaisons du lieu articulatoire

Nous présentons plus spécifiquement les résultats concernant les paires pour lesquelles l'opposition porte sur le lieu articulatoire de la consonne entre les deux items. Nous étudions trois oppositions différentes (antérieure – médiane, antérieure – postérieure, médiane – postérieure). Dans chaque paire, les deux items présentent exactement la même structure et les deux consonnes présentent exactement le même statut de voisement et le même mode articulatoire comme, par exemple, « f – s », « ab – ag » ou « fa – ja ». Lorsque nous considérons quatre structures, formant avec les 12 consonnes 48 items, c'est-à-dire que nous incluons la consonne isolée #C#, notamment dans les expériences n°1 et n°3, nous prenons en compte 48 paires différentes qui sont toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 96 paires d'items par participant. Lorsque nous ne considérons que trois structures, formant avec les 12 consonnes 36 items, c'est-à-dire que nous excluons la consonne isolée #C#, comme dans l'expérience n°2, nous prenons en compte 36 paires différentes qui sont aussi toutes présentées deux fois. Nous comptons alors 72 paires d'items par participant. Dans tous les cas, chacun des trois lieux articulatoires étudiés apparaît dans deux paires sur trois. Dans tous les tableaux, afin de faciliter les comparaisons entre les différentes analyses, nous disposons les consonnes antérieures à gauche, les consonnes médianes au milieu et les consonnes postérieures à droite.

6.6.1. Expérience n°1

6.6.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°1 d'auto-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 9.216 paires d'items avec une opposition de lieu articulatoire. Dans ce cas, chacun des trois lieux articulatoires étudiés apparaît donc dans 6.144 paires. Nous observons un effet du lieu articulatoire de la consonne ($\chi^2(2)=255 ; p<0,0001$) : dans le Tableau 220, disposé en annexe, nous constatons que les consonnes médianes sont perçues comme les plus faciles à produire, suivies par les consonnes antérieures, tandis que les consonnes postérieures sont perçues comme les plus difficiles dans 61% des cas. Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant sur cet effet ($\chi^2(2)=4 ;$

$p=0,13$) : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son lieu articulaire ne varie pas de manière significative entre les 96 participants témoins en fonction de ce paramètre.

En revanche, il existe une interaction significative de l'âge du participant sur cet effet du lieu articulaire, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(2)=10$; $p=0,006$; $V=0,033$) : dans le Tableau 221, disposé en annexe, il semble que l'effet observé entre les consonnes médianes et antérieures soit annulé chez les participants les plus âgés.

Par ailleurs, il existe une interaction significative de la consigne donnée au participant sur cet effet, même si celle-ci apparaît aussi négligeable ($\chi^2(2)=23$; $p<0,0001$; $V=0,050$) : dans le Tableau 222, disposé en annexe, il semble que l'effet observé entre les consonnes médianes et antérieures soit annulé quand la consigne est d'indiquer l'item le plus facile à produire.

Il existe une petite interaction de la structure de l'item sur l'effet du lieu articulaire ($\chi^2(6)=73$; $p<0,0001$; $V=0,063$) : dans le Tableau 223, disposé en annexe, nous constatons que l'effet observé entre les consonnes médianes et antérieures est annulé dans les structures #CV et VCV et que l'effet observé entre les consonnes médianes et postérieures est réduit dans la structure #C#.

Par ailleurs, il existe une petite interaction du voisement de la consonne sur l'effet du lieu articulaire ($\chi^2(2)=115$; $p<0,0001$; $V=0,112$) : dans le Tableau 224, disposé en annexe, nous constatons que l'effet observé, notamment entre les consonnes antérieures et postérieures, est annulé pour les consonnes non voisées.

Il existe aussi une interaction significative du mode articulaire de la consonne sur cet effet, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(2)=10$; $p=0,008$; $V=0,032$) : dans le Tableau 225, disposé en annexe, il semble que l'effet observé entre les consonnes médianes et antérieures soit annulé pour les consonnes fricatives.

6.6.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°1, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 6.912 paires d'items avec une opposition de lieu articulaire. Dans ce cas, chacun des trois lieux articulaires étudiés apparaît donc dans 4.608 paires. Nous observons encore un effet du lieu articulaire de la consonne sur l'auto-perception de la difficulté

de production en parole modale ($\chi^2(2)=243$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 112, nous constatons de nouveau que les consonnes médianes sont perçues comme les plus faciles à produire, suivies par les consonnes antérieures, tandis que les consonnes postérieures sont perçues comme les plus difficiles. Il n'existe toujours pas d'interaction du sexe du participant sur l'effet du lieu articulaire ($\chi^2(2)=1$; $p=0,64$). Par ailleurs, il n'existe pas ici d'interaction de l'âge du participant sur cet effet ($\chi^2(2)=6$; $p=0,05$) : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son lieu articulaire ne varie pas de manière significative entre les 96 participants témoins en fonction de ce paramètre lorsque les consonnes isolées sont exclues.

	Lieu articulaire de la consonne			Total
	Antérieure	Médiane	Postérieure	
Toutes	2.080 ; 45,1 ; 2	1.924 ; 41,8 ; 1	2.908 ; 63,1 ; 3	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 112 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire (en excluant les consonnes isolées)

En revanche, il existe une interaction significative de la consigne donnée au participant sur cet effet du lieu articulaire, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(2)=12$; $p=0,002$; $V=0,042$) : dans le Tableau 113, il semble que l'effet observé entre les consonnes médianes et antérieures soit de nouveau annulé quand la consigne est d'indiquer l'item le plus facile à produire.

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Consigne donnée (N)	Difficile	1076 ; 46,7 ; 4	897 ; 38,9 ; 1	1483 ; 64,4 ; 6	3.456
	Facile	1004 ; 43,6 ; 2	1027 ; 44,6 ; 3	1425 ; 61,8 ; 5	3.456
Total		2.080	1.924	2.908	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 113 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction de la consigne donnée au participant (en excluant les consonnes isolées)

Il existe toujours une petite interaction de la structure de l'item sur l'effet du lieu articulaire ($\chi^2(4)=58$; $p<0,0001$; $V=0,065$) : dans le Tableau 114, nous constatons que l'effet observé entre les consonnes médianes et antérieures est de nouveau annulé pour les consonnes pré-vocaliques #CV en particulier.

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Structure (P)	#CV	634 ; 41,3 ; 3	660 ; 43,0 ; 4	1010 ; 65,8 ; 9	2.304
	VCV	623 ; 40,6 ; 2	705 ; 45,9 ; 5	976 ; 63,5 ; 8	2.304
	VC#	823 ; 53,6 ; 6	559 ; 36,4 ; 1	922 ; 60,0 ; 7	2.304
Total		2.080	1.924	2.908	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 114 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées)

Par ailleurs, il existe aussi toujours une petite interaction du voisement de la consonne sur l'effet du lieu articulaire ($\chi^2(2)=106$; $p<0,0001$; $V=0,124$) : dans le Tableau 115, nous constatons que l'effet observé entre les consonnes médianes et antérieures est inversé pour les consonnes voisées et que l'effet observé entre les consonnes antérieures et postérieures est de nouveau annulé pour les consonnes non voisées.

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Voisement (P)	Non voisée	1232 ; 53,5 ; 4	921 ; 40,0 ; 2	1303 ; 56,6 ; 5	3.456
	Voisée	848 ; 36,8 ; 1	1003 ; 43,5 ; 3	1605 ; 69,7 ; 6	3.456
Total		2.080	1.924	2.908	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 115 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction du voisement de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

Il existe aussi toujours une interaction significative du mode articulaire de la consonne sur cet effet, même si celle-ci apparaît encore négligeable ($\chi^2(2)=18$; $p=0,0001$; $V=0,051$) : dans le Tableau 116, il semble que l'effet observé entre les consonnes médianes et antérieures soit de nouveau annulé pour les consonnes fricatives.

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Mode articulaire (N)	Fricative	966 ; 41,9 ; 2	1022 ; 44,4 ; 3	1468 ; 63,7 ; 6	3.456
	Occlusive	1114 ; 48,4 ; 4	902 ; 39,1 ; 1	1440 ; 62,5 ; 5	3.456
Total		2.080	1.924	2.908	6.912

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 116 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction du mode articulaire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

6.6.2. Expérience n°2 (sans consonnes isolées)

6.6.2.1. Pour tous les participants

Dans l'expérience n°2 d'auto-perception de la difficulté de production en parole chuchotée, dans laquelle seules les trois structures #CV, VCV et VC# sont étudiées, nous comptons 1.728 paires avec une opposition de lieu articulaire. Dans ce cas, chacun des trois lieux étudiés apparaît donc dans 1.152 paires. Nous observons un effet du lieu articulaire de la consonne ($\chi^2(2)=105$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 117, nous constatons que les consonnes médianes sont perçues comme les plus faciles à produire, suivies par les consonnes antérieures, tandis que les consonnes postérieures sont perçues comme les plus difficiles dans 67% des cas. Il n'existe pas d'interaction du sexe du participant ($\chi^2(2)=1$; $p=0,53$) ou de la participation préalable à l'expérience n°1 ($\chi^2(2)=0$; $p=0,90$) sur cet effet : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son lieu articulaire ne varie pas de manière significative entre les 24 participants témoins, du moins en fonction de ces deux paramètres.

	Lieu articulaire de la consonne			Total
	Antérieure	Médiane	Postérieure	
Toutes	507 ; 44,0 ; 2	447 ; 38,8 ; 1	774 ; 67,2 ; 3	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 117 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du lieu articulaire (sans consonnes isolées)

Il existe une petite interaction de la structure de l'item sur cet effet du lieu articulaire ($\chi^2(2)=16$; $p=0,003$) : dans le Tableau 118, nous constatons que l'effet observé entre les

consonnes médianes et antérieures existe seulement dans la structure VC# et qu'il est nul dans les structures #CV et VCV.

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Structure (P)	#CV	155 ; 40,4 ; 2,5	160 ; 41,7 ; 4	261 ; 68,0 ; 9	576
	VCV	155 ; 40,4 ; 2,5	168 ; 43,8 ; 5	253 ; 65,9 ; 7	576
	VC#	197 ; 51,3 ; 6	119 ; 31,0 ; 1	260 ; 67,7 ; 8	576
Total		507	447	774	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 118 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du lieu articulaire en fonction de la structure de l'item (sans consonnes isolées)

Par ailleurs, il existe une petite interaction du voisement de la consonne sur l'effet du lieu articulaire ($\chi^2(2)=39$; $p<0,0001$; $V=0,149$) : dans le Tableau 119, nous constatons que l'effet observé entre les consonnes médianes et antérieures est inversé pour les consonnes voisées.

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Voisement (P)	Non voisée	309 ; 53,6 ; 4	186 ; 32,3 ; 1	369 ; 64,1 ; 5	864
	Voisée	198 ; 34,4 ; 2	261 ; 45,3 ; 3	405 ; 70,3 ; 6	864
Total		507	447	774	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 119 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du lieu articulaire en fonction du voisement de la consonne (sans consonnes isolées)

En revanche, il n'existe pas d'interaction du mode articulaire de la consonne sur cet effet ($\chi^2(2)=7$; $p=0,03$) : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son lieu articulaire ne varie pas de manière significative entre les consonnes fricatives et occlusives.

6.6.2.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception, nous observons encore un effet du lieu articulaire de la consonne ($\chi^2(2)=52$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 226, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de parole confondus, les consonnes postérieures sont de nouveau perçues comme les plus

difficiles à produire et ce dans 64% des cas mais que les résultats correspondent au hasard pour les consonnes antérieures et médianes. Il n'existe pas d'interaction de la structure de l'item sur cet effet ($\chi^2(2)=3$; $p=0,19$) : chez ces 12 participants témoins, la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son lieu articuloire ne varie pas de manière significative entre l'expérience n°1 en parole modale et l'expérience n°2 en parole chuchotée.

6.6.3. Expérience n°3

6.6.3.1. Pour tous les participants

6.6.3.1.1. Avec consonnes isolées

Dans l'expérience n°3 d'hétéro-perception de la difficulté de production en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous comptons 2.304 paires d'items avec une opposition de lieu articuloire. Dans ce cas, chacun des trois lieux articuloires étudiés apparaît donc dans 1.536 paires. Nous observons un effet du lieu articuloire de la consonne ($\chi^2(2)=73$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 227, disposé en annexe, nous constatons que les consonnes antérieures et médianes sont perçues indifféremment comme les plus faciles à produire, tandis que les consonnes postérieures sont perçues comme les plus difficiles dans 63% des cas. Il n'existe pas d'interaction de la participation préalable à l'expérience n°1 ($\chi^2(2)=4$; $p=0,12$) sur cet effet : la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son lieu articuloire ne varie pas de manière significative entre les 24 participants témoins en fonction de ce paramètre. Il n'existe pas non plus d'interaction de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(2)=1$; $p=0,74$) et pour les hommes ($\chi^2(2)=0$; $p=0,89$).

En revanche, il existe une interaction significative du sexe du participant sur cet effet du lieu articuloire, même si celle-ci apparaît négligeable ($\chi^2(2)=11$; $p=0,005$; $V=0,068$) : dans le Tableau 228, disposé en annexe, il semble que les consonnes antérieures soient perçues comme les plus faciles chez les femmes et que les consonnes médianes soient perçues comme les plus faciles chez les hommes.

Il existe une petite interaction de la structure de l'item sur l'effet du lieu articuloire ($\chi^2(6)=22$; $p=0,0012$; $V=0,069$) : dans le Tableau 229, disposé en annexe, nous constatons que

les consonnes antérieures sont perçues comme les plus faciles dans les structures #CV et VCV, tandis que les consonnes médianes sont perçues comme les plus faciles dans la structure #C#.

Par ailleurs, il existe une petite interaction du voisement de la consonne sur l'effet du lieu articulaire ($\chi^2(2)=68$; $p<0,0001$; $V=0,172$) : dans le Tableau 230, disposé en annexe, nous constatons que, d'une part, les consonnes antérieures sont perçues comme les plus faciles pour les consonnes voisées et que, d'autre part, l'effet observé entre les consonnes antérieures et postérieures est annulé pour les consonnes non voisées.

Il existe aussi une petite interaction du mode articulaire de la consonne sur cet effet ($\chi^2(2)=33$; $p<0,0001$; $V=0,119$) : dans le Tableau 231, disposé en annexe, nous constatons que, d'une part, les consonnes médianes sont perçues comme les plus faciles pour les consonnes occlusives et que, d'autre part, l'effet observé entre les consonnes médianes et postérieures est annulé pour les fricatives.

6.6.3.1.2. En excluant les consonnes isolées

Dans cette expérience n°3, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous comptons 1.728 paires d'items avec une opposition de lieu articulaire. Dans ce cas, chacun des trois lieux articulaires étudiés apparaît donc dans 1.152 paires. Nous observons encore un effet du lieu articulaire de la consonne ($\chi^2(1)=41$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 120, nous constatons que les consonnes antérieures sont perçues comme les plus faciles à produire, tandis que les consonnes postérieures sont de nouveau perçues comme les plus difficiles, ici dans 61% des cas. De plus, le résultat pour les consonnes médianes correspond au hasard. Il n'existe toujours pas d'interaction de la participation préalable à l'expérience n°1 ($\chi^2(2)=3$; $p=0,23$) ou de la voix perçue, pour les femmes ($\chi^2(2)=1$; $p=0,87$) et pour les hommes ($\chi^2(2)=0$; $p=0,997$), sur cet effet.

	Lieu articulaire de la consonne			Total
	Antérieure	Médiane	Postérieure	
Toutes	495 ; 43,0 ; 1	534 ; 46,4 ; 2	699 ; 60,7 ; 3	1.728

*Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.*

Tableau 120 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire (en excluant les consonnes isolées)

En revanche, il existe effectivement une petite interaction du sexe du participant sur cet effet du lieu articulaire ($\chi^2(2)=12$; $p=0,003$; $V=0,082$) : dans le Tableau 121, nous constatons notamment que l'effet observé entre les consonnes antérieures et postérieures est plus important chez les femmes.

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Sexe du participant (P)	Femme	217 ; 37,7 ; 1	271 ; 47,0 ; 3	376 ; 65,3 ; 6	864
	Homme	278 ; 48,3 ; 4	263 ; 45,7 ; 2	323 ; 56,1 ; 5	864
Total		495	534	699	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 121 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction du sexe du participant (en excluant les consonnes isolées)

Il existe toujours une petite interaction de la structure de l'item sur l'effet du lieu articulaire ($\chi^2(4)=15$; $p=0,006$; $V=0,065$) : dans le Tableau 122, nous constatons que l'effet observé entre les consonnes antérieures et médianes est annulé dans la structure VC#.

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Structure (P)	#CV	146 ; 38,0 ; 1	180 ; 46,9 ; 4	250 ; 65,1 ; 9	576
	VCV	153 ; 39,8 ; 2	195 ; 50,8 ; 5	228 ; 59,4 ; 8	576
	VC#	196 ; 51,0 ; 6	159 ; 41,4 ; 3	221 ; 57,6 ; 7	576
Total		495	534	699	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 122 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées)

Par ailleurs, il existe toujours une petite interaction du voisement de la consonne sur l'effet du lieu articulaire ($\chi^2(2)=58$; $p<0,0001$; $V=0,183$) : dans le Tableau 123, nous constatons que l'effet observé, notamment entre les consonnes antérieures et postérieures, est de nouveau plus important pour les voisées alors qu'il est nul pour les non voisées.

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Voisement (P)	Non voisée	317 ; 55,0 ; 5	253 ; 43,9 ; 2	294 ; 51,0 ; 4	864
	Voisée	178 ; 30,9 ; 1	281 ; 48,8 ; 3	405 ; 70,3 ; 6	864
Total		495	534	699	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé..

Tableau 123 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction du voisement de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

Il existe aussi toujours une petite interaction du mode articulaire de la consonne sur cet effet ($\chi^2(2)=27$; $p<0,0001$; $V=0,124$) : dans le Tableau 124, nous constatons de nouveau que, d'une part, les consonnes médianes sont perçues comme les plus faciles pour les consonnes occlusives et que, d'autre part, l'effet observé entre les consonnes médianes et postérieures est annulé pour les fricatives.

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Mode articulaire (P)	Fricative	234 ; 40,6 ; 2	316 ; 54,9 ; 5	314 ; 54,5 ; 4	864
	Occlusive	261 ; 45,3 ; 3	218 ; 37,8 ; 1	385 ; 66,8 ; 6	864
Total		495	534	699	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 124 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction du mode articulaire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)

6.6.3.2. Pour les participants issus de l'expérience n°1

6.6.3.2.1. Avec consonnes isolées

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous considérons les quatre structures #CV, VCV, VC# et #C#, nous observons un effet du lieu articulaire de la consonne ($\chi^2(2)=88$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 232, disposé en annexe, nous constatons que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les consonnes médianes sont perçues comme les plus faciles à produire, tandis que les consonnes postérieures sont perçues comme les plus difficiles dans 63% des cas. De plus, le résultat pour les consonnes antérieures correspond au hasard. Cependant, il n'existe pas

d'interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(2)=7$; $p=0,04$) : chez ces 12 participants témoins, la perception de la difficulté de production d'une consonne selon son lieu articulaire ne varie pas de manière significative entre l'expérience n°1 d'auto-perception et l'expérience n°3 d'hétéro-perception.

6.6.3.2.2. En excluant les consonnes isolées

Dans le groupe ayant pris part aux deux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, lorsque nous excluons la consonne isolée #C# pour ne considérer que trois structures, nous observons encore un effet du lieu articulaire de la consonne ($\chi^2(1)=62$; $p<0,0001$) : dans le Tableau 233, disposé en annexe, nous constatons de nouveau que, pour ces participants particuliers et tous types de perception confondus, les consonnes médianes sont perçues comme les plus faciles à produire, tandis que les consonnes postérieures sont perçues comme les plus difficiles dans 63% des cas. De plus, le résultat pour les consonnes antérieures correspond toujours au hasard. Cependant, il n'existe toujours pas d'interaction du type de perception sur cet effet ($\chi^2(2)=7$; $p=0,024$).

6.6.4. Résumé

Dans ces expériences de perception, lorsque nous considérons uniquement les oppositions portant sur le lieu articulaire de la consonne, nous observons que les consonnes postérieures ont toujours été perçues comme les plus difficiles à produire. Les consonnes médianes semblent perçues comme plus difficiles à produire que les antérieures chez les femmes, pour les consonnes occlusives et pour les consonnes postvocaliques (VC#). Au contraire, les consonnes antérieures semblent perçues comme plus difficiles à produire que les médianes chez les hommes, pour les consonnes pré-vocalique (#CV) et pour les consonnes intervocaliques (VCV). En revanche, dans toutes les expériences, pour les consonnées voisées, les antérieures ont été perçues comme plus difficiles à produire que les médianes et les médianes plus difficiles à produire que les postérieures.

Par ailleurs, l'effet observé entre les consonnes médianes et postérieures est réduit pour les consonnes isolées (#C#) et pour les consonnes fricatives. Dans le cas de ces dernières, les lieux articulaires sont proches. En effet, les consonnes fricatives médianes correspondent aux apico-alvéolaires et les consonnes fricatives postérieures correspondent aux apico-post-alvéolaires.

7. Résultats physiques

Nous présentons ici les résultats des expériences n°4 et n°5 de production, ayant permis de réaliser des mesures physiques, chez les participants témoins. Nous rappelons que l'expérience n°4 comportait des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques alors que l'expérience n°5 comportait uniquement des mesures acoustiques. Dans ces deux expériences, nous avons essayé d'éliciter un comportement d'effort phonatoire. Pour cela, dans un premier temps, nous avons juste demandé aux locuteurs de lire à haute voix, sans leur donner d'autres indications, afin d'obtenir une production de l'ensemble du matériel phonétique en parole vocale modale usuelle. Dans un second temps, nous leur avons demandé de relire en modifiant leur voix, voire leur parole pour l'expérience n°4, afin de faire varier l'effort phonatoire notamment. Il est probable que ce contrôle de la parole et de la voix ait aussi induit des variations de l'effort articulaire. Avant de comparer les mesures physiques entre les productions de parole et de voix usuelles et les autres, nous avons d'abord procédé à une sélection des productions inusuelles (7.1) à partir de paramètres acoustiques tels que la fréquence fondamentale (F0), l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) et, le cas échéant, le niveau de pression sonore (SPL). Nous avons ensuite réalisé les comparaisons entre la parole vocale usuelle et les types de parole ou de voix sélectionnés, pour les mesures physiologiques et aérodynamiques spécifiques de l'expérience n°4 (7.2), puis les mesures

acoustiques couramment utilisées (7.3), telles que la durée segmentale ou le taux de voisement (V%) des consonnes, et les nouvelles mesures acoustiques que nous proposons (7.4), c'est-à-dire la fréquence fondamentale relative originale (RFF) et sa version adaptée (RFF_a).

7.1. Acoustiques : Indices de sélection

Dans les deux expériences de production, nous avons mesuré des paramètres acoustiques au niveau du centre de gravité des voyelles. Il s'agissait principalement de la fréquence fondamentale (F0), indice de la hauteur de la voix, et de l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), indice quant à elle de la qualité vocale. Dans l'expérience n°4, le microphone se trouvant à une distance fixe et calibrée de la bouche des locuteurs, nous avons également mesuré le niveau de pression sonore (SPL), indice de l'intensité vocale. Nous avons d'abord exploré les productions de voix usuelle, puis nous leur avons comparé, pour chacun des individus, les productions vocales contrôlées. Pour rappel, dans l'expérience n°4, six consignes étaient données aux participants, dont deux concernaient la hauteur (grave et aigüe), deux autres l'intensité (faible et forte) et deux dernières la qualité vocale (soufflée et pressée), tandis qu'une seule consigne concernant la hauteur était donnée dans l'expérience n°5 : produire une voix plus aigüe que sa voix usuelle. Pour chaque expérience, nous avons ensuite sélectionné des patterns de voix contrôlées récurrents, différant grandement de la voix usuelle. Dans les analyses suivantes, l'ensemble des productions de voix usuelle est comparé à l'ensemble des productions avec les divers types de voix ainsi sélectionnés.

7.1.1. Expérience n°4

Dans l'expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques, contrairement aux autres expériences de cette étude, nous avons utilisé des trains de huit syllabes. Nous avons réalisé les mesures acoustiques sur cinq voyelles, de la deuxième à la sixième, pour chacun des 24 trains syllabiques produits selon chaque consigne. Nous disposons donc théoriquement de 120 données par production et par participant. Cependant, des données sont manquantes dans les cas où la fréquence fondamentale (F0) n'a pas pu être détectée. Par ailleurs, des erreurs de lecture ont pu occasionner l'oubli ou l'ajout de syllabes. Nous avons donc choisi de noter, parmi les résultats, le pourcentage de données obtenues par rapport au nombre de mesures

réalisées sur les voyelles. Nous avons mesuré le niveau de pression sonore (SPL), pour évaluer l'intensité de la voix, la fréquence fondamentale (F0), pour évaluer sa hauteur, et l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), pour évaluer la qualité vocale. Nous présentons d'abord les résultats pour les productions en parole vocale modale usuelle (parole et voix usuelles), puis les productions en parole vocale modale inusuelle, contrôlée au niveau de l'intensité, de la hauteur ou de la qualité : voix grave, voix aigüe, voix faible, voix forte, voix soufflée et voix pressée. Nous comparons les trois paramètres acoustiques étudiés, au niveau intra-individuel, entre la voix usuelle et chacune de ces productions de voix contrôlée. Nous repérons ensuite des types de voix contrôlée, avec des patterns récurrents, qui diffèrent significativement de la voix usuelle, au niveau des trois paramètres acoustiques. Nous rappelons que, suite à ces sept productions de parole vocale modale, les participants témoins ont produit les 24 trains de syllabes en parole vocale basale (mécanisme 0 de phonation ou *frγ*) et en parole chuchotée usuelle (friction glottique). Nous procédons également à une sélection des enregistrements pour ces deux types de parole.

7.1.1.1. Parole et voix usuelles

L'expérience n°4 portait sur 12 participants témoins jeunes, six hommes et six femmes, dont six avaient pris part à l'expérience n°1 de perception, trois hommes (σ_1 , σ_2 et σ_3) et trois femmes (φ_1 , φ_2 et φ_3). Le délai moyen entre l'expérience n°1 d'auto-perception en parole vocale modale usuelle et cette expérience n°4 de production était de 368 jours, soit environ un an. De plus, cinq de ces participants, les trois hommes ainsi que deux des femmes (φ_1 et φ_3), avaient aussi pris part à l'expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale, environ trois mois auparavant. Dans l'analyse de la voix usuelle, nous observons les effets du sexe du participant et de la participation préalable à l'expérience n°1.

Dans les productions en parole vocale modale usuelle, il existe un petit effet du sexe sur le niveau de pression sonore (SPL) ($F(1,1.417)=49$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,03$) : il est plus bas, en moyenne de 3 décibels (dB), chez les femmes. La voix usuelle est donc plus faible chez celles-ci. Il existe, par ailleurs, un grand effet du sexe du participant sur la fréquence fondamentale (F0) ($F(1,1.414)=3.714$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,72$) : elle est plus haute, en moyenne de 11 demi-tons (dT), chez les femmes. La voix est donc plus aigüe chez celles-ci. Enfin, il existe un grand effet du sexe sur l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) ($F(1,1.414)=333$; $p<0,0001$;

$\eta^2=0,19$) : elle est plus petite, en moyenne de 4dB, chez les femmes. La voix est donc plus pressée chez elles. Du fait de ces différences entre les hommes et les femmes, présentons les analyses en séparant ces deux groupes de participants.

7.1.1.1.1. Femmes

Pour les productions usuelles chez les femmes, les résultats individuels des mesures de niveau de pression sonore (SPL), en décibels (dB), de fréquence fondamentale (F0), en demi-tons (dT) et d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), en dB, sont présentés dans le Tableau 125. Nous observons un petit effet de la participation préalable à l'expérience n°1 sur le SPL ($F(1,704)=25$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,03$), avec une différence moyenne de 3dB, sur la F0 ($F(1,703)=16$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$), avec une différence moyenne de 1dT, et sur la H1-H2 ($F(1,703)=32$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$), avec une différence moyenne de 2dB. Les femmes qui ont préalablement pris part à l'expérience n°1 présentent une voix plus forte, plus grave et plus soufflée que les nouvelles participantes. Cependant, ces différences ne semblent pas systématiques. En effet, nous observons que la voix est notamment plus forte chez les femmes ♀₂ (ancienne) et ♀₅ (nouvelle) mais plus faible pour ♀₄ (nouvelle), qu'elle est plus grave pour ♀₂ (ancienne) et ♀₄ (nouvelle) mais plus aigüe pour ♀₅ et ♀₆ (nouvelles), et qu'elle est plus soufflée pour ♀₃ (ancienne).

Voix usuelles		Données acoustiques				
		Données/Mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Femmes	♀ ₁	1,00	61 (2)	58 (1)	-2 (2)	
	Anciennes	♀ ₂	1,00	72 (2)	54 (1)	-0 (2)
		♀ ₃	1,00	66 (3)	56 (1)	2 (2)
		Moy. (n=3)	–	66 (5)	56 (2)	-0 (3)
	Nouvelles	♀ ₄	0,99	54 (2)	54 (5)	-3 (8)
		♀ ₅	1,00	73 (2)	58 (0)	-2 (3)
		♀ ₆	1,00	64 (2)	58 (0)	-0 (2)
		Moy. (n=3)	–	64 (8)	57 (3)	-2 (5)
	Moyenne (n=6)		–	65 (7)	56 (3)	-1 (4)

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type).

Tableau 125 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques de la voix usuelle chez les femmes

7.1.1.1.2. Hommes

Pour les productions usuelles chez les hommes, les résultats individuels des mesures de niveau de pression sonore (SPL), en décibels (dB), de fréquence fondamentale (F0), en demi-tons (dT) et d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), en dB, sont présentés dans le Tableau 127. Nous n'observons pas d'effet de la participation préalable à l'expérience n°1 sur le SPL ($F(1,711)=2$; $p=0,14$) ou sur la F0 ($F(1,709)=0$; $p=0,65$) : il n'existe pas de différence significative d'intensité ou de hauteur entre les hommes des deux groupes. En revanche, il existe un petit effet de la participation préalable sur la H1-H2 ($F(1,709)=10$; $p=0,002$; $\eta^2=0,013$), avec une différence moyenne de 1dB : les hommes qui ont préalablement pris part à l'expérience n°1 présentent une voix plus soufflée que les nouveaux participants. Cependant, cette différence semble principalement due à l'homme $\hat{\sigma}_2$ (ancien), qui présente une voix particulièrement soufflée (H1-H2=10dB).

Voix usuelles		Données acoustiques				
		Données/Mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Hommes	$\hat{\sigma}_1$	1,00	58 (2)	42 (1)	3 (1)	
	Anciens	$\hat{\sigma}_2$	1,00	67 (2)	45 (0)	10 (3)
		$\hat{\sigma}_3$	1,00	81 (1)	51 (1)	-2 (2)
		Moy. (n=3)	–	69 (10)	46 (4)	4 (5)
	Nouveaux	$\hat{\sigma}_4$	1,00	75 (2)	49 (1)	3 (2)
		$\hat{\sigma}_5$	0,98	71 (1)	48 (1)	4 (2)
		$\hat{\sigma}_6$	0,96	57 (3)	40 (1)	1 (2)
		Moy. (n=3)	–	68 (8)	46 (4)	3 (2)
	Moyenne (n=6)		–	68 (9)	46 (4)	3 (4)

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type).

Tableau 126 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques de la voix usuelle chez les hommes

7.1.1.2. Autres types de voix

Dans l'expérience n°4, suite à la production de voix usuelle, nous avons demandé aux participants de produire d'abord une voix plus grave, puis une voix plus aigüe, une voix plus faible, une voix plus forte, une voix plus soufflée et, enfin, une voix plus pressée. Afin d'évaluer si les participants ont réussi à respecter la consigne de contrôle de la voix, nous observons son effet sur le niveau de pression sonore (SPL) pour les variations d'intensité (voix faible et voix forte), sur la

fréquence fondamentale (F0) pour les variations de hauteur (voix grave et voix aigüe), ou bien sur l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) pour les variations de qualité (voix soufflée et voix pressée). Même en cas de non-respect de la consigne, lorsque les trois paramètres acoustiques varient de manière significative par rapport à la voix usuelle, nous retenons le type de voix. Si un type de voix apparaît chez plusieurs participants, nous le présélectionnons. Ensuite, nous sélectionnons les productions pour lesquelles tous les effets statistiques sont grands ($\eta^2 > 0,14$).

7.1.1.2.1. Femmes

Nous présentons ici les résultats individuels des six femmes, pour chacune des six consignes de production de la parole vocale modale contrôlée, en comparaison avec la parole vocale modale usuelle. Pour plus de lisibilité, tous les résultats statistiques sont placés en annexe.

φ_1		Données acoustiques				
		Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Contrôle	Intensité	Faible	1,00	50 (3) [-11]	51 (6) [-7]	-7 (15) [-5]
		Forte	1,00	72 (1) [+11]	60 (0) [+2]	-8 (2) [-6]
	Hauteur	Grave	1,00	53 (2) [-9]	49 (6) [-9]	-7 (7) [-4]
		Aigüe	0,98	63 (2) [+1]	66 (0) [+8]	-3 (2) [-0]
	Qualité	Soufflée	0,99	48 (4) [-13]	47 (5) [-11]	-11 (12) [-9]
		Pressée	0,99	68 (3) [+7]	60 (1) [+3]	1 (4) [+3]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].
 Résultats statistiques : effet non significatif en grisé (gris foncé) ; petit effet ou moyen effet en grisé (gris clair) ; effet non attendu en gras.

Tableau 127 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme φ_1

Pour la participante φ_1 , dans le Tableau 127, nous observons que les consignes de contrôle de la qualité (voix soufflée et voix pressée) n'ont pas été respectées. Par ailleurs, il n'existe pas d'effet significatif du contrôle de la hauteur (voix aigüe) sur le paramètre associé à la qualité, c'est-à-dire sur l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), et seulement un moyen effet de cette consigne sur le niveau de pression sonore (SPL), associé à l'intensité. De plus, la consigne de contrôle de l'intensité (voix faible) n'a qu'un petit effet sur le paramètre de la qualité vocale. Tous les autres résultats statistiques, présentés dans le Tableau 234 en annexe, ont de grands effets sur les paramètres acoustiques. Nous constatons que la première femme a produit trois types de voix, en comparaison avec sa voix usuelle : forte-aigüe-pressée (F+ ; consigne de

voix forte), forte-aigüe-soufflée (consigne de voix pressée) et faible-grave-pressée (consignes de voix faible, voix grave et voix soufflée).

Pour la participante ♀₂, dans le Tableau 235, disposé en annexe, nous constatons que les consignes de contrôle de la voix ont toutes un effet significatif sur les trois paramètres acoustiques. Il s'agit toujours de grands effets, excepté pour la consigne de contrôle de la hauteur (voix grave), qui n'a qu'un petit effet sur l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), c'est-à-dire sur la qualité de la voix. Dans le Tableau 128, nous pouvons voir que, en comparaison avec sa voix usuelle, la deuxième femme a produit quatre types de voix : forte-aigüe-pressée (F+ ; consignes de voix forte, voix aigüe et voix pressée), faible-aigüe-soufflée (consigne de voix faible), faible-grave-pressée (consigne de voix grave) et faible-grave-soufflée (F- ; consigne de voix soufflée).

♀ ₂			Données acoustiques			
			Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Contrôle	Intensité	Faible	0,99	65 (2) [-7]	56 (1) [+1]	7 (4) [+8]
		Forte	0,99	80 (1) [+7]	60 (0) [+6]	-8 (2) [-7]
	Hauteur	Grave	1,00	69 (2) [-4]	53 (1) [-1]	-1 (2) [-1]
		Aigüe	1,00	78 (2) [+6]	63 (1) [+8]	-2 (2) [-1]
	Qualité	Soufflée	0,98	66 (3) [-7]	53 (1) [-1]	9 (4) [+9]
		Pressée	1,00	77 (3) [+5]	59 (1) [+5]	-4 (5) [-3]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].
 Résultats statistiques : petit effet en grisé.

Tableau 128 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀₂

Pour la participante ♀₃, dans le Tableau 236, disposé en annexe, nous constatons que toutes les consignes de contrôle de la voix ont un effet significatif sur les paramètres acoustiques. Il s'agit de grands effets, excepté pour la consigne de contrôle de la hauteur (voix grave), qui n'a qu'un moyen effet sur l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), c'est-à-dire sur la qualité de la voix, et pour la consigne de contrôle de la qualité (voix soufflée), qui n'a qu'un petit effet sur la fréquence fondamentale (F0), c'est-à-dire sur la hauteur vocale. Dans le Tableau 130, nous voyons que cette troisième femme a produit quatre types de voix en comparaison avec la voix usuelle : forte-aigüe-pressée (F+ ; consignes de voix forte, voix aigüe et voix pressée), forte-grave-pressée (consigne de voix grave), faible-aigüe-soufflée (consigne de voix soufflée) et faible-grave-soufflée (F- ; consigne de voix faible).

♀_3		Données acoustiques				
		Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Contrôle	Intensité	Faible	1,00	58 (2) [-7]	55 (1) [-1]	18 (5) [+15]
		Forte	0,98	82 (2) [+17]	64 (0) [+8]	-9 (3) [-12]
	Hauteur	Grave	0,99	68 (3) [+3]	53 (1) [-3]	1 (3) [-1]
		Aigüe	0,99	71 (2) [+5]	63 (1) [+7]	-2 (3) [-5]
	Qualité	Soufflée	0,96	59 (4) [-7]	56 (1) [+0]	19 (6) [+17]
		Pressée	1,00	75 (3) [+9]	61 (1) [+5]	-3 (3) [-5]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].
Résultats statistiques : petit effet ou moyen effet en grisé.

Tableau 129 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀_3

♀_4		Données acoustiques				
		Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Contrôle	Intensité	Faible	1,00	45 (3) [-8]	46 (3) [-8]	-14 (8) [-11]
		Forte	0,98	66 (3) [+13]	60 (0) [+6]	-7 (2) [-4]
	Hauteur	Grave	1,00	52 (2) [-1]	53 (4) [-1]	-2 (6) [+1]
		Aigüe	0,98	55 (2) [+1]	61 (0) [+7]	-1 (2) [+2]
	Qualité	Soufflée	0,97	51 (3) [-2]	44 (1) [-11]	-15 (4) [-12]
		Pressée	0,99	60 (3) [+6]	57 (1) [+3]	1 (4) [+4]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].
Résultats statistiques : effet non significatif en grisé (gris foncé) ; moyen effet en grisé (gris clair) ; effet non attendu en gras.

Tableau 130 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀_4

Pour la participante ♀_4 , dans le Tableau 131, nous observons que les consignes de contrôle de la qualité (voix soufflée et voix pressée) et de la hauteur (voix grave) n'ont pas été respectées. La dernière n'a pas d'effet significatif sur le paramètre acoustique de fréquence fondamentale (F0) qui lui est associé. Par ailleurs, il n'existe pas d'effet significatif du contrôle de la hauteur (voix grave et voix aigüe) sur le paramètre de la qualité vocale, c'est-à-dire sur l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2). De plus, les consignes de contrôle de la hauteur (voix grave et voix aigüe) et de la qualité (voix soufflée) n'ont que de moyens effets sur le niveau de pression sonore (SPL), c'est-à-dire sur l'intensité de la voix, et des consignes de contrôle de l'intensité (voix forte) et de la qualité (voix pressée) n'ont également que de moyens effets sur le paramètre de qualité vocale. Les autres résultats statistiques, exposés dans le Tableau 237 en annexe, correspondent à de grands effets. Cette quatrième femme a donc produit trois types de voix, en comparaison avec sa voix usuelle : forte-aigüe-pressée (F+ ; consigne de voix forte), forte-aigüe-

soufflée (consigne de voix pressée) et faible-grave-pressée (consignes de voix faible et de voix soufflée).

Pour la participante ♀₅, dans le Tableau 132, nous notons que la fréquence fondamentale (F0) n'a pu être détectée que dans 80% des voyelles pour la production de voix soufflée. Il n'existe pas d'effet significatif du contrôle de l'intensité (voix faible) sur l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), c'est-à-dire sur la qualité de la voix, ni du contrôle de la hauteur (voix aigüe) sur le niveau de pression sonore (SPL), c'est-à-dire sur son intensité. De plus, il n'existe qu'un petit effet du contrôle de l'intensité (voix forte) sur le paramètre de qualité vocale. Les autres résultats statistiques correspondent à de grands effets. Tous ces résultats statistiques sont exposés dans le Tableau 238, en annexe. La cinquième femme a produit trois types de voix, en comparaison avec sa voix usuelle : forte-aigüe-pressée (F+ ; consigne de voix pressée), forte-grave-pressée (consigne de voix forte) et faible-grave-soufflée (F- ; consignes de voix grave et voix soufflée).

♀ ₅			Données acoustiques			
			Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Contrôle	Intensité	Faible	1,00	59 (2) [-14]	50 (6) [-8]	-3 (13) [-1]
		Forte	1,00	78 (2) [+5]	57 (0) [-1]	-3 (3) [-1]
	Hauteur	Grave	1,00	67 (2) [-6]	56 (0) [-3]	5 (2) [+8]
		Aigüe	1,00	74 (3) [+1]	64 (1) [+6]	-7 (3) [-5]
	Qualité	Soufflée	0,80	61 (3) [-13]	54 (1) [-4]	11 (3) [+13]
		Pressée	1,00	75 (3) [+2]	61 (1) [+3]	-7 (3) [-5]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].
 Résultats statistiques : effet non significatif en grisé (gris foncé) ; petit effet en grisé (gris clair).

Tableau 131 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀₅

Pour la participante ♀₆, dans le Tableau 132, nous observons que les consignes de contrôle de l'intensité (voix forte) et de la qualité (voix soufflée) n'ont pas été respectées : il n'existe pas d'effet significatif de ces consignes sur leurs paramètres associés respectifs, à savoir le niveau de pression sonore (SPL) et l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2). De plus, il n'existe pas d'effet significatif du contrôle de l'intensité (voix faible et voix forte) sur le paramètre associé à la qualité vocale, bien que nous observions une tendance chez cette femme à produire la voix faible de manière plutôt pressée. Enfin, il n'existe qu'un moyen effet de la consigne de contrôle de la qualité (voix pressée) sur son paramètre associé. Tous les autres résultats statistiques

ont de grands effets sur les paramètres acoustiques, comme nous pouvons le voir dans le Tableau 239, qui est disposé en annexe. Cette sixième femme a produit deux types de voix, en comparaison avec sa voix usuelle : forte-aigüe-pressée (F+ ; consignes de voix aigüe et voix pressée) et faible-grave-soufflée (F- ; consigne de voix grave).

♀ ₆		Données acoustiques				
		Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Contrôle	Intensité	Faible	1,00	49 (2) [-14]	49 (6) [-9]	-3 (13) [-3]
		Forte	1,00	64 (1) [-0]	58 (0) [+1]	-1 (2) [-1]
	Hauteur	Grave	1,00	58 (2) [-6]	53 (0) [-4]	4 (2) [+5]
		Aigüe	0,98	69 (2) [+5]	63 (0) [+6]	-6 (2) [-6]
	Qualité	Soufflée	1,00	48 (4) [-16]	51 (6) [-7]	0 (14) [+0]
		Pressée	1,00	70 (4) [+6]	60 (3) [+3]	-2 (4) [-2]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].

Résultats statistiques : effet non significatif en grisé (gris foncé) ; moyen effet en grisé (gris clair).

Tableau 132 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀₆

7.1.1.2.2. Hommes

Nous présentons ici les résultats individuels des six hommes, pour chacune des six consignes de production de la parole vocale modale contrôlée, en comparaison avec la parole vocale modale usuelle. Pour plus de lisibilité, encore une fois, les résultats statistiques sont placés en annexe.

♂ ₁		Données acoustiques				
		Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Contrôle	Intensité	Faible	1,00	56 (3) [-2]	49 (1) [+7]	8 (5) [+5]
		Forte	0,98	75 (1) [+18]	53 (1) [+11]	0 (2) [-3]
	Hauteur	Grave	0,99	65 (2) [+7]	39 (1) [-3]	0 (1) [-3]
		Aigüe	1,00	70 (3) [+12]	59 (1) [+17]	-2 (2) [-4]
	Qualité	Soufflée	1,00	59 (3) [+1]	47 (2) [+5]	7 (3) [+4]
		Pressée	1,00	66 (2) [+9]	45 (1) [+3]	1 (2) [-2]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].

Résultats statistiques : petit effet en grisé.

Tableau 133 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme ♂₁

Pour le participant ♂₁, comme présenté dans le Tableau 240, disposé en annexe, les consignes ont toutes de grands effets sur les paramètres acoustiques, excepté pour le contrôle de

la qualité (voix soufflée), qui n'a qu'un petit effet sur le niveau de pression sonore (SPL), c'est-à-dire sur l'intensité vocale. Dans le Tableau 133, nous constatons que ce premier homme a produit quatre types de voix, en comparaison avec sa voix usuelle : forte-aigüe-pressée (F+ ; consignes de voix forte, voix aigüe et voix pressée), forte-aigüe-soufflée (consigne de voix soufflée), forte-grave-pressée (consigne de voix grave) et faible-aigüe-soufflée (consigne de voix faible).

Pour le participant σ_2 , dans le Tableau 241, disposé en annexe, nous notons qu'il n'existe pas d'effet significatif du contrôle de la hauteur (voix grave) sur le paramètre de la qualité vocale, à savoir l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), ni du contrôle de la qualité (voix soufflée) sur le paramètre de la hauteur, à savoir la fréquence fondamentale (F0). Par ailleurs, la consigne de contrôle de l'intensité (voix faible) n'a qu'un moyen effet sur ces paramètres de hauteur et de qualité de la voix. De même, les consignes de contrôle de la hauteur (voix aigüe) et de la qualité (voix pressée) n'ont qu'un moyen effet sur le paramètre de la qualité vocale. Enfin, la consigne de contrôle de la hauteur (voix grave) n'a qu'un petit effet sur son paramètre associé. Tous les autres résultats statistiques correspondent à de grands effets. Dans le Tableau 134, nous observons que ce deuxième homme a produit trois types de voix, en comparaison avec sa voix usuelle : forte-aigüe-pressée (F+ ; consignes de voix forte et voix pressée), forte-aigüe-soufflée (consigne de voix aigüe) et faible-aigüe-soufflée (consigne de voix faible).

σ_2		Données acoustiques				
		Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Contrôle	Intensité	Faible	1,00	63 (2) [-4]	45 (1) [+1]	12 (4) [+3]
		Forte	1,00	81 (2) [+14]	50 (1) [+6]	4 (2) [-6]
	Hauteur	Grave	1,00	71 (2) [+4]	44 (1) [-0]	10 (3) [+0]
		Aigüe	1,00	70 (2) [+3]	49 (1) [+5]	12 (4) [+2]
	Qualité	Soufflée	0,98	62 (4) [-5]	45 (3) [-0]	14 (5) [+4]
		Pressée	1,00	77 (3) [+10]	49 (2) [+4]	8 (2) [-2]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].
 Résultats statistiques : effet non significatif en grisé (gris foncé) ; petit effet ou moyen effet en grisé (gris clair).

Tableau 134 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme σ_2

Pour le participant σ_3 , dans le Tableau 135, nous observons que les consignes de contrôle de l'intensité vocale (voix forte) et de la qualité vocale (voix pressée) n'ont pas été respectées. De plus, cette dernière consigne n'a qu'un petit effet sur son paramètre associé d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2). Par ailleurs, les consignes de contrôle de l'intensité (voix

faible) et de la hauteur (voix aigüe) n’ont pas d’effet significatif sur ce paramètre de qualité vocale et la consigne de contrôle de la qualité (voix pressée) n’a pas d’effet sur le paramètre de la hauteur, à savoir la fréquence fondamentale (F0). Nous observons aussi que la consigne de contrôle de l’intensité (voix forte) n’a qu’un moyen effet sur les paramètres de la hauteur et de la qualité vocale. Enfin, la consigne de contrôle de la hauteur (voix grave) n’a qu’un petit effet sur le niveau de pression sonore (SPL), c’est-à-dire sur l’intensité de la voix. Les autres résultats statistiques correspondaient à de grands effets. L’ensemble des résultats statistiques est présenté dans le Tableau 242, en annexe. En comparaison avec la voix usuelle, ce troisième homme a produit trois types de voix : forte-grave-soufflée (consigne de voix pressée), faible-grave-pressée (consignes de voix forte et voix grave) et faible-grave-soufflée (F- ; consigne de voix soufflée).

σ_3		Données acoustiques				
		Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Contrôle	Intensité	Faible	0,98	72 (2) [-9]	45 (1) [-6]	-2 (2) [-0]
		Forte	1,00	69 (1) [-12]	50 (1) [-0]	-3 (1) [-1]
	Hauteur	Grave	1,00	80 (2) [-1]	45 (1) [-6]	-4 (1) [-2]
		Aigüe	0,98	84 (2) [+3]	66 (1) [+15]	-2 (4) [-1]
	Qualité	Soufflée	0,99	69 (6) [-12]	46 (1) [-5]	7 (4) [+8]
		Pressée	1,00	83 (2) [+2]	50 (1) [-0]	-1 (2) [+1]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle]. Résultats statistiques : effet non significatif en grisé (gris foncé) ; petit effet ou moyen effet en grisé (gris clair) ; effet non attendu en gras.

Tableau 135 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l’homme σ_3

Pour le participant σ_4 , dans le Tableau 136, nous observons que la consigne de contrôle de la qualité vocale (voix pressée) n’a pas été respectée. Par ailleurs, il n’existe pas d’effet du contrôle de la hauteur (voix grave) sur l’amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), c’est-à-dire sur la qualité de la voix. De plus, la consigne de contrôle de l’intensité (voix faible) n’a qu’un moyen effet sur la fréquence fondamentale (F0), paramètre associé à la hauteur de la voix, et la consigne de contrôle de la hauteur (voix aigüe) n’a qu’un petit effet sur le niveau de pression sonore (SPL), associé à l’intensité vocale. Tous les autres résultats statistiques correspondaient à de grands effets. L’ensemble de ces résultats statistiques est exposé dans le Tableau 243, en annexe. En comparaison avec sa voix usuelle, ce quatrième homme a produit quatre types de voix : forte-aigüe-pressée (F+ ; consigne de voix forte), forte-aigüe-soufflée (consigne de voix aigüe), faible-

aigüe-soufflée (consigne de voix pressée) et faible-grave-soufflée (F- ; consignes de voix faible et voix soufflée).

♂_4		Données acoustiques				
		Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Contrôle	Intensité	Faible	1,00	65 (2) [-10]	48 (0) [-1]	11 (3) [+8]
		Forte	1,00	80 (1) [+5]	53 (1) [+5]	1 (2) [-2]
	Hauteur	Grave	1,00	79 (1) [+4]	47 (1) [-1]	3 (2) [-0]
		Aigüe	1,00	75 (1) [+1]	54 (0) [+6]	10 (3) [+7]
	Qualité	Soufflée	1,00	60 (6) [-14]	47 (0) [-2]	15 (5) [+12]
		Pressée	1,00	64 (2) [-10]	51 (1) [+2]	10 (5) [+7]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].
Résultats statistiques : effet non significatif en grisé (gris foncé) ; petit effet ou moyen effet en grisé (gris clair) ; effet non attendu en gras.

Tableau 136 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme ♂_4

♂_5		Données acoustiques				
		Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Contrôle	Intensité	Faible	1,00	66 (2) [-5]	49 (1) [+0]	12 (3) [+8]
		Forte	1,00	74 (2) [+3]	50 (1) [+2]	0 (2) [-3]
	Hauteur	Grave	1,00	76 (2) [+5]	46 (0) [-3]	5 (2) [+1]
		Aigüe	1,00	80 (1) [+9]	52 (0) [+4]	1 (2) [-3]
	Qualité	Soufflée	1,00	58 (2) [-13]	52 (0) [+4]	14 (6) [+10]
		Pressée	0,99	68 (2) [-3]	55 (1) [+6]	10 (5) [+6]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].
Résultats statistiques : effet non significatif en grisé (gris foncé) ; moyen effet en grisé (gris clair) ; effet non attendu en gras.

Tableau 137 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme ♂_5

Pour le participant ♂_5 , dans le Tableau 137, nous observons que la consigne de contrôle de la qualité vocale (voix pressée) n'a pas été respectée. Dans le Tableau 244, disposé en annexe, nous observons aussi que la consigne de contrôle de l'intensité (voix faible) n'a pas d'effet significatif sur la fréquence fondamentale (F0), c'est-à-dire sur la hauteur de la voix. Par ailleurs, la consigne de contrôle de la hauteur (voix grave) n'a qu'un moyen effet sur l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), c'est-à-dire sur la qualité vocale. Les autres résultats statistiques correspondaient à de grands effets. Ce cinquième homme a donc produit trois types de voix, en comparaison avec sa voix usuelle : forte-aigüe-pressée (F+ ; consignes de voix forte et

voix aigüe), forte-grave-soufflée (consigne de voix grave) et faible-aigüe-soufflée (consignes de voix soufflée et voix pressée).

Pour le participant ♂₆, dans le Tableau 138, nous remarquons que la fréquence fondamentale (F0) n'a pu être détectée que dans 51% des voyelles pour la production de voix faible, dans 56% pour les productions de voix grave et pressée, et dans 66% pour la production de voix soufflée. De plus, dans le Tableau 245, disposé en annexe, nous observons que la consigne de contrôle de l'intensité (voix faible) n'a pas d'effet significatif sur la fréquence fondamentale (F0), c'est-à-dire sur la hauteur de la voix. Par ailleurs, la consigne de contrôle de la hauteur (voix aigüe) n'a qu'un moyen effet sur le paramètre de la qualité vocale, à savoir l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2). Les autres effets statistiques étaient tous grands. Ce dernier homme a produit trois types de voix, en comparaison avec sa voix usuelle : forte-aigüe-pressée (F+ ; consignes de voix forte, voix aigüe et voix pressée), forte-grave-soufflée (consigne de voix soufflée) et faible-grave-pressée (consigne de voix grave).

♂ ₆		Données acoustiques				
		Données/mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Contrôle	Intensité	Faible	0,51	66 (2) [10]	40 (1) [+0]	4 (3) [+3]
		Forte	0,99	81 (1) [+24]	46 (1) [+7]	-2 (1) [-3]
	Hauteur	Grave	0,56	54 (2) [-2]	34 (1) [-6]	-3 (1) [-4]
		Aigüe	0,98	84 (2) [+27]	64 (6) [+24]	-7 (14) [-8]
	Qualité	Soufflée	0,66	69 (2) [+12]	39 (1) [-1]	4 (3) [+3]
		Pressée	0,56	77 (3) [+20]	42 (1) [+2]	-1 (2) [-2]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].
 Résultats statistiques : effet non significatif en grisé (gris foncé) ; moyen effet en grisé (gris clair).

Tableau 138 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme ♂₆

7.1.1.2.3. Résumé

A ce stade de l'analyse, nous remarquons que quatre des consignes n'ont pas été respectées de façon systématique par les 12 locuteurs : la voix pressée chez quatre d'entre eux, la voix soufflée chez trois autres, la voix forte chez deux d'entre eux et la voix grave chez un dernier locuteur. Par ailleurs, deux consignes n'ont pas eu un grand effet sur leur paramètre associé : la voix pressée, pour laquelle nous observons seulement un petit effet sur l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) chez un locuteur et un moyen effet chez un autre, et la voix grave, pour

laquelle nous observons un seulement un petit effet sur le niveau de pression sonore (SPL) chez un locuteur. Par ailleurs, nous avons déjà exclu 15 productions de voix contrôlées, pour lesquelles au moins l'un des trois paramètres acoustiques ne différait pas significativement de la voix usuelle. Il s'agissait de la voix faible dans cinq cas, de la voix aigüe dans quatre cas, de la voix grave dans trois cas, de la voix soufflée dans deux cas et de la voix forte dans le dernier cas.

7.1.1.3. Voix sélectionnées

Nous présentons d'abord la répartition des voix présélectionnées, c'est-à-dire pour lesquelles les trois paramètres acoustiques diffèrent significativement de la voix usuelle, chez les hommes et chez les femmes. Etant donné le grand nombre de production considérées, nous avons décidé de sélectionner, pour la suite, seulement celles pour lesquelles les trois effets statistiques sont grands.

7.1.1.3.1. Femmes

Femmes	Consigne						Total	
	Intensité		Hauteur		Qualité			
	Faible	Forte	Grave	Aigüe	Soufflée	Pressée		
Production	Forte-aigüe-pressée		♀ ₁ ♀ ₂ ♀ ₃ (♀ ₄)		♀ ₂ ♀ ₃ ♀ ₆		♀ ₂ ♀ ₃ ♀ ₅ (♀ ₆)	11
	Forte-aigüe-soufflée						♀ ₁ (♀ ₄)	2
	Forte-grave-pressée		(♀ ₅)	(♀ ₃)		–		2
	Forte-grave-soufflée							–
	Faible-aigüe-pressée							–
	Faible-aigüe-soufflée	♀ ₂				(♀ ₃)		2
	Faible-grave-pressée	♀ ₄ (♀ ₁)		♀ ₁ (♀ ₂)		♀ ₁ (♀ ₄)		6
	Faible-grave-soufflée	♀ ₃		♀ ₅ ♀ ₆		♀ ₂ ♀ ₅		5
Total	4	5	5	3	5	6	28	

Production non attendue en grisé ; voix avec juste un petit ou moyen effet sur au moins l'un des paramètres acoustiques entre parenthèses.

Tableau 139 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; types de voix observés chez les femmes

Chez les femmes, nous observons la production de six types de voix différents, présentés dans le Tableau 139. Nous rappelons que la consigne de voix soufflée a eu un effet inverse sur son paramètre acoustique associé (H1-H2) dans deux cas et aucun effet dans un autre cas, tandis que la consigne de voix pressée a eu un effet inverse dans deux cas également. De plus, la consigne de voix forte n'a pas eu d'effet sur son paramètre associé (SPL) dans un cas et celle de voix grave n'a

pas eu d'effet sur son paramètre associé (F0) dans un cas également. Par ailleurs, la consigne de voix faible n'a pas eu d'effet sur un autre paramètre (H1-H2) que celui qui lui est associé dans deux cas et la consigne de voix aigüe n'a pas eu d'effet sur ce même paramètre (H1-H2) qui ne lui est pas associé dans deux cas et sur un autre paramètre (SPL) non associé dans un dernier cas.

En ne considérant que les voix pour lesquelles nous observons de grands effets de la consigne sur les trois paramètres acoustiques, nous repérons trois patterns récurrents : voix forte-aigüe-pressée (F+) pour neuf productions, dont trois réalisées par chacune des participantes ♀₂ et ♀₃, mais aucune par la participante ♀₄, voix faible-grave-pressée pour trois productions, dont deux réalisées par la participante ♀₁ et l'autre par la participante ♀₄, ainsi que voix faible-grave-pressée (F-) pour cinq productions, dont deux réalisées par la participante ♀₅, mais aucune par les participantes ♀₁ et ♀₄. Le premier type de voix F+ n'a été élicité qu'avec les consignes de voix forte, voix aigüe et voix pressée, tandis que les deux autres types de voix, dont F-, n'ont été élicités qu'avec les consignes de voix faible, voix grave et voix soufflée.

Dans le Tableau 140, nous présentons les données acoustiques pour ces trois types de voix sélectionnés. Les résultats statistiques des comparaisons de chaque type de voix avec la voix usuelle sont présentés dans le Tableau 246, en annexe. Nous notons que l'effet de la voix faible-grave-soufflée (F-) sur le niveau de pression sonore (SPL), c'est-à-dire sur l'intensité vocale, n'est pas grand. Par ailleurs, chez ces participantes, nous observons une occurrence de voix forte-aigüe-soufflée et une occurrence de voix faible-aigüe-soufflée, que nous n'étudions pas. Comme présenté plus bas, ce dernier type de voix (faible-aigüe-soufflée) apparaît de façon récurrente chez les hommes.

Femmes		Données acoustiques		
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Voix	Forte-aigüe-pressée (F+ ; n=9)	76 (5) [+10]	62 (2) [+5]	-5 (4) [-5]
	Faible-grave-pressée (n=3)	49 (4) [-16]	48 (5) [-9]	-11 (10) [-10]
	Faible-grave-soufflée (F- ; n=5)	62 (5) [-3]	54 (1) [-2]	9 (6) [+10]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à l'ensemble des voix usuelles].

Résultats statistiques : moyen effet en grisé.

Tableau 140 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des types de voix sélectionnés chez les femmes

7.1.1.3.2. Hommes

Chez les hommes, nous observons la production de sept types de voix différents, présentés dans le Tableau 141. Nous rappelons que la consigne de voix pressée a eu un effet inverse sur le paramètre acoustique associé (H1-H2) dans trois cas et que la consigne de voix forte a eu un effet inverse sur son paramètre (SPL) dans un cas. Par ailleurs, la consigne de voix faible n'a pas eu d'effet sur un paramètre qui ne lui est pas associé (H1-H2) dans un cas et sur un autre paramètre non associé (F0) dans deux cas, la consigne de voix grave n'a pas eu d'effet sur un paramètre non associé (H1-H2) dans deux cas, la consigne de voix aigüe n'a pas eu d'effet sur ce même paramètre (H1-H2) qui ne lui est pas associé dans un cas et la consigne de voix soufflée n'a pas non plus eu d'effet sur un paramètre non associé (F0) dans un dernier cas.

Hommes	Consigne						Total	
	Intensité		Hauteur		Qualité			
	Faible	Forte	Grave	Aigüe	Soufflée	Pressée		
Production	Forte-aigüe-pressée		♂ ₁ ♂ ₂ ♂ ₄ ♂ ₅ ♂ ₆		♂ ₁ ♂ ₅ (♂ ₆)	♂ ₁ ♂ ₆ (♂ ₂)	11	
	Forte-aigüe-soufflée				(♂ ₁ ♂ ₄)	(♂ ₁)	3	
	Forte-grave-pressée			♂ ₁			1	
	Forte-grave-soufflée			(♂ ₅)		♂ ₆	(♂ ₃)	3
	Faible-aigüe-pressée						–	
	Faible-aigüe-soufflée	♂ ₁ (♂ ₂)				♂ ₅	♂ ₄ ♂ ₅	5
	Faible-grave-pressée		(♂ ₃)	♂ ₆ (♂ ₃)				3
	Faible-grave-soufflée	(♂ ₄)				♂ ₃ ♂ ₄		3
Total	3	6	4	5	5	6	29	

Production non attendue en grisé ; voix avec juste un petit ou moyen effet sur au moins l'un des paramètres acoustiques entre parenthèses.

Tableau 141 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; types de voix observés chez les hommes

En ne considérant que les voix pour lesquelles nous observons de grands effets sur les trois paramètres acoustiques, nous repérons trois patterns récurrents : voix forte-aigüe-pressée (F+) pour neuf productions, dont trois réalisées par le participant ♂₁ et deux réalisées par chacun des participants ♂₅ et ♂₆, mais aucune par le participant ♀₃, voix faible-aigüe-soufflée pour quatre productions, dont deux réalisées par le participant ♂₅ et les autres par les participants ♂₁ et ♂₄, et voix faible-grave-soufflée (F-) pour seulement deux productions, dont l'une réalisée par le participant ♂₃ et l'autre par le participant ♂₄. Le premier type de voix F+ n'a été élicité qu'avec les consignes de voix forte, voix aigüe et voix pressée, tandis que le dernier type de voix F- n'a été

élicité qu'avec la consigne de voix soufflée. En revanche, la voix faible-aigüe-soufflée a, dans deux cas, été élicité avec la consigne de voix pressée (non-respect de la consigne) et, dans les deux autres cas, avec les consignes de voix faible et voix soufflée. Ce type de voix semble correspondre au mécanisme 2 de phonation.

Dans le Tableau 142, nous présentons les données acoustiques pour ces trois types de voix sélectionnés. Les résultats statistiques des comparaisons de chaque type de voix avec la voix usuelle sont exposés dans le Tableau 247, en annexe. Nous notons que les effets de la voix faible-grave-soufflée (F-) sur le niveau de pression sonore (SPL), c'est-à-dire sur l'intensité, et sur la fréquence fondamentale (F0), c'est-à-dire sur la hauteur, ne sont pas grands. Par ailleurs, chez ces participants, nous observons une occurrence de voix faible-grave-pressée, que nous n'étudions pas. Comme présenté plus haut, ce type particulier de voix apparaît de façon récurrente chez les femmes.

Hommes		Données acoustiques		
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Voix	Forte-aigüe-pressée (F+ ; n=9)	76 (5) [+8]	51 (5) [+5]	0 (3) [-3]
	Faible-aigüe-soufflée (Tm ; n=4)	61 (5) [-7]	52 (2) [+6]	10 (6) [+7]
	Faible-grave-soufflé (F- ; n=2)	64 (7) [-4]	46 (1) [+1]	11 (6) [+8]

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à l'ensemble des voix usuelles].

Résultats statistiques : effet négligeable ou petit effet en grisé.

Tableau 142 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des types de voix sélectionnés chez les hommes

7.1.1.4. Autres types de parole

Dans cette expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques, après l'enregistrement de la parole vocale modale usuelle (parole et voix usuelles) et des six voix contrôlées au niveau de l'intensité, la hauteur et la qualité (autres types de voix), nous avons enregistré deux autres types de parole : 10 des 12 participants ont d'abord réalisé une production en parole vocale basale, dans le mécanisme 0 de phonation ou en *fry* (Fr), c'est-à-dire avec une vibration aperiodique des plis vocaux, puis les 12 participants ont réalisé une production de parole chuchotée usuelle (Ch), c'est-à-dire sans vibration des plis vocaux. Nous présentons ici brièvement les résultats des trois mesures acoustiques mentionnées précédemment, dans le but de sélectionner les productions correctement réalisées.

7.1.1.4.1. Parole vocale basale

Dans cette expérience, deux participants masculins, ♂₂ et ♂₅ n'ont pas réussi à produire le mécanisme 0 de phonation. Ce mécanisme, utilisé dans la parole vocale basale, se caractérise par une fréquence de vibration aperiodique des plis vocaux très basse, le plus souvent inférieure à 80 Hertz (Hz) ou 39 demi-tons (dT). Dans le Tableau 143, nous constatons que la fréquence fondamentale (F0) est supérieure à cette limite chez deux femmes, ♀₁ et ♀₂, et chez deux hommes, ♂₄ et ♂₆. De plus, le mécanisme 0 de phonation se caractérise par un quotient de contact (CQ) important, c'est-à-dire un contact très long des plis vocaux pendant leur vibration. Pourtant, nous constatons que l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) est supérieure à 0, traduisant un faible contact des plis vocaux, chez deux participants masculins ♂₁ et ♂₆. Nous avons donc exclu tous ces participants. Seules les productions en parole vocale basale de quatre femmes ♀₃, ♀₄, ♀₅ et ♀₆ et d'un homme ♂₃ ont alors été retenues pour les analyses physiologiques et aérodynamiques à suivre. Nous rappelons que ce mécanisme de phonation ne varie pas en fonction du sexe du locuteur. Chez ces cinq participants, pour ce type de parole, le niveau de pression sonore (SPL) moyen égale 59 décibels (dB) avec un écart-type de 4dB, la F0 moyenne égale 38dT, avec un écart-type de 3dT, et la H1-H2 moyenne égale [-3]dB, avec un écart-type de 3dB.

Parole vocale basale ou <i> fry</i>		Données acoustiques			
		Données/Mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Participants	♀ ₁	0,45	53 (2)	41 (5)	-3 (6)
	♀ ₂	0,71	63 (3)	46 (5)	-3 (5)
	♀ ₃	0,66	60 (3)	37 (3)	-2 (3)
	♀ ₄	0,51	54 (3)	38 (5)	-3 (5)
	♀ ₅	0,88	62 (3)	38 (4)	-5 (5)
	♀ ₆	0,83	52 (2)	39 (4)	-2 (5)
	♂ ₁	0,05	57 (2)	37 (2)	3 (2)
	♂ ₂	–	–	–	–
	♂ ₃	0,63	64 (2)	35 (2)	-3 (3)
	♂ ₄	0,97	53 (2)	46 (1)	8 (4)
	♂ ₅	–	–	–	–
♂ ₆	0,48	63 (3)	70 (1)	12 (5)	

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) ; valeur non attendue en gras.

Tableau 143 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques de la parole vocale basale

7.1.1.4.2. Parole chuchotée

La friction glottique, utilisée dans la parole chuchotée, se caractérise par une absence de vibration des plis vocaux et une fuite d'air glottique. Or, dans le Tableau 144, nous constatons que la fréquence fondamentale (F0) a été détectée dans 20 pourcents (%) des voyelles observées chez le participant ♂₂ et dans 13% chez la participante ♀₂. De plus, chez cette femme, l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) était inférieure à 0, traduisant un fort contact des plis vocaux. L'homme ♂₅ présentait également une valeur moyenne de H1-H2 inférieure à 0, mais la vibration périodique des plis vocaux ne survenait que dans 6% des voyelles. Nous avons donc exclu seulement les productions des participants ♂₂ et ♀₂ pour la suite des analyses avec les mesures physiologiques et aérodynamiques.

Chuchotement		Données acoustiques				
		Données/Mesures	SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Sexe	Femmes	♀ ₁	0,02	47 (1)	73 (10)	2 (8)
		♀ ₂	0,13	52 (1)	61 (11)	-5 (12)
		♀ ₃	–	–	–	–
		♀ ₄	–	–	–	–
		♀ ₅	–	–	–	–
		♀ ₆	–	–	–	–
	Homme	♂ ₁	–	–	–	–
		♂ ₂	0,20	51 (3)	74 (9)	4 (9)
		♂ ₃	0,06	49 (2)	47 (7)	2 (15)
		♂ ₄	0,02	38 (2)	47 (1)	18 (10)
		♂ ₅	0,06	42 (3)	76 (2)	-1 (6)
		♂ ₆	–	–	–	–

Données acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) mesuré en décibels (dB) ; fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en dB ; valeur moyenne (écart-type) ; valeur non attendue en gras.

Tableau 144 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques de la parole chuchotée

7.1.1.5. Résumé

Cette pré-analyse acoustique nous a permis de sélectionner différents types de parole et de voix pour lesquelles les trois paramètres acoustiques étudiés variaient de manière significative par rapport à la voix usuelle des participants, avec de grands effets statistiques. Pour la parole vocale modale, nous avons retenu toutes les productions de voix usuelle (Us), et certaines productions

inusuelles correspondant aux quatre types de voix contrôlées suivantes : forte-aigüe-pressée (F+) et faible-grave-soufflée (F-) apparaissant tous deux chez les hommes et les femmes, faible-aigüe-soufflée apparaissant typiquement chez les hommes (Tm) et faible-grave-pressée apparaissant typiquement chez les femmes (Tf). Nous avons aussi retenu cinq productions de parole vocale basale ou *fry* (Fr) et dix productions de parole chuchotée (Ch). Nous présentons la répartition de ces productions en fonction du participant et de la consigne donnée dans le Tableau 145.

		Consigne									Total
		1 ^{ère} Usuel	2 ^{ème} Grave	3 ^{ème} Aigu	4 ^{ème} Faible	5 ^{ème} Fort	6 ^{ème} Soufflé	7 ^{ème} Pressé	8 ^{ème} <i>Fry</i>	9 ^{ème} Chuchoté	
Participants	♀ ₁	Us	Tf			F+	Tf	Tx		Ch	5
	♀ ₂	Us		F+	Tm	F+	F-	F+			5
	♀ ₃	Us		F+	F-	F+		F+	Fr	Ch	7
	♀ ₄	Us			Tf				Fr	Ch	4
	♀ ₅	Us	F-				F-	F+	Fr	Ch	6
	♀ ₆	Us	F-	F+					Fr	Ch	5
	♂ ₁	Us		F+	Tm	F+		F+		Ch	6
	♂ ₂	Us				F+					2
	♂ ₃	Us					F-		Fr	Ch	4
	♂ ₄	Us				F+	F-	Tm		Ch	5
	♂ ₅	Us		F+		F+	Tm	Tm		Ch	6
	♂ ₆	Us	Tf			F+		F+		Ch	4
<i>Total</i>		12	3	5	3	8	6	7	5	10	59

Types de parole et de voix observés : parole et voix usuelles (Us), voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm) ; voix forte-aigüe-soufflée chez une seule participante (Tx) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; retenu dans l'étude en grisé.

Tableau 145 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; récapitulatif des productions retenues pour les analyses suivantes

7.1.2. Expérience n°5

Dans l'expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques, comme pour les trois premières expériences en perception, nous avons étudié des syllabes simples directes de type consonne-voyelle (#CV) et indirectes de type voyelle-consonne (VC#), ainsi que des logatomes simples de type voyelle-consonne-voyelle (VCV). Nous avons donc ici mesuré les paramètres acoustiques de la voix sur toutes les voyelles de tous les items. Puisque nous avons pris en compte la totalité des 12 consonnes étudiées, répétées trois fois dans chaque structure, nous disposons théoriquement de 144 données par production et par participant. Cependant, comme

pour l'expérience n°4, des données sont manquantes dans les cas où la fréquence fondamentale (F0) n'a pas pu être détectée. Nous avons donc noté, là aussi, le pourcentage de données obtenues par rapport au nombre de mesures réalisées. Comme le microphone n'était pas placé à une distance fixe de la bouche du locuteur et n'était donc pas calibré entre les différents locuteurs, nous n'avons pas mesuré le niveau de pression sonore (SPL), qui permet d'évaluer l'intensité de la voix. En revanche, nous avons mesuré la fréquence fondamentale (F0), pour évaluer la hauteur de la voix, et l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), pour évaluer sa qualité. Nous présentons d'abord les résultats pour les productions en parole vocale modale usuelle (parole et voix usuelles), puis les productions en parole vocale modale contrôlée au niveau de la hauteur, c'est-à-dire avec une voix plus aigüe que la voix usuelle. Nous comparons les deux paramètres acoustiques, au niveau intra-individuel, entre la voix usuelle et la production de voix contrôlée. Nous présélectionnons ensuite les types de voix récurrents, qui diffèrent significativement des voix usuelles, au niveau des deux paramètres acoustiques étudiés. Au final, nous sélectionnons les voix pour lesquelles nous observons de grands effets statistiques.

7.1.2.1. Parole et voix usuelles

L'expérience n°5 portait sur 24 participants témoins jeunes, 12 hommes et 12 femmes, dont 12 avaient pris part à l'expérience n°4 de perception, six hommes et six femmes. Le délai moyen entre les expériences n°4 et n°5 de production était de 6 jours. Cependant, cinq hommes et quatre femmes ont réalisé l'expérience n°4 le matin et l'expérience n°5 l'après-midi du même jour. De plus, la lecture des items en voix usuelle était ici réalisée à la suite de plusieurs tâches longues de lecture avec le même type de voix (textes, phrases et mots), qui ont pu induire un effort phonatoire. La production contrôlée était aussi réalisée à la suite de ces mêmes tâches de lecture, en voix aigüe. Dans cette pré-analyse de la voix usuelle, nous observons donc les effets du sexe du participant et de la participation préalable à l'expérience n°4. De plus, le cas échéant, nous comparons les résultats obtenus dans cette expérience à ceux obtenus dans l'expérience précédente. Cependant, nous n'effectuons pas de tests statistiques car ces deux expériences n'ont pas été réalisées avec les mêmes instruments d'enregistrement.

Dans les productions en parole vocale modale usuelle, il existe un grand effet du sexe du participant sur la fréquence fondamentale (F0) ($F(1,2820)=16.072$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,85$) : elle est

plus haute, en moyenne de 10 demi-tons (dT), chez les femmes. La voix est donc plus aigüe chez celles-ci. Il existe, par ailleurs, un petit effet du sexe sur l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) ($F(1,2822)=70$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : elle est plus grande, en moyenne de 1 décibel (dB), chez les femmes. La voix est donc plus soufflée chez elles. Ces différences entre les hommes et les femmes, nous poussent à les considérer séparément pour la suite des analyses.

7.1.2.1.1. Femmes

Voix usuelles		Paramètres acoustiques			
		Données/mesures	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Femmes	Anciennes	♀ ₁	0,79	57 (1)	8 (6)
		♀ ₂ *	0,94	56 (1)	3 (5)
		♀ ₃ *	0,93	56 (1)	4 (3)
		♀ ₄	0,89	56 (1)	6 (4)
		♀ ₅	0,78	57 (1)	5 (3)
		♀ ₆	0,94	54 (1)	7 (3)
		Moyenne (n=6)	–	56 (1)	6 (5)
	Nouvelles	♀ ₇	0,92	55 (1)	3 (3)
		♀ ₈	0,86	53 (1)	8 (3)
		♀ ₉	0,96	56 (1)	6 (5)
		♀ ₁₀	0,95	52 (1)	10 (5)
		♀ ₁₁	0,97	55 (1)	6 (3)
♀ ₁₂		0,88	57 (1)	10 (7)	
	Moyenne (n=6)	–	55 (2)	7 (5)	
	Moyenne (n=12)	–	55 (2)	6 (5)	

Données acoustiques : fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en décibels (dB) ; valeur moyenne (écart-type).

* Femmes n'ayant pas participé le jour-même de l'expérience n°4.

Tableau 146 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques de la voix usuelle chez les femmes

Les résultats individuels de la mesure de fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT), pour les productions usuelles chez les femmes, sont présentés dans le Tableau 146. Nous observons un moyen effet de la participation préalable à l'expérience n°4 sur la F0 ($F(1,1.560)=234$; $p<0,001$; $\eta^2=0,13$) : elle est plus haute, en moyenne de 1dT, chez les participantes issues de l'expérience n°4. La voix est donc plus aigüe pour elles. Pour ces six participantes particulières, la voix ne semble pas plus aigüe dans cette expérience, par rapport à l'expérience n°4. Cependant, parmi les deux femmes qui n'ont pas réalisé les deux expériences le même jour (♀₂ et ♀₃ ; délai de 28 jours), pour la participante ♀₂, nous observons une certaine augmentation de la F0 dans

l'expérience n°5. Par ailleurs, parmi les quatre femmes qui ont réalisé les deux expériences le même jour (♀_1 , ♀_4 , ♀_5 et ♀_6), nous observons aussi, dans cette expérience n°5, une certaine augmentation de la F0 pour la participante ♀_4 , mais une diminution pour la participante ♀_6 , par rapport à l'expérience n°4.

Les résultats individuels de la mesure d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en décibels (dB), dans la voix usuelle des femmes, sont aussi présentés dans le Tableau 146. Nous observons un petit effet de la participation préalable à l'expérience n°4 sur la H1-H2 ($F(1,1.560)=48$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,03$) : elle est plus petite, en moyenne de 2dB, pour les participantes issues de l'expérience n°4. La voix est donc plus pressée chez elles. Cependant, pour ces six participantes particulières, la voix semble plus soufflée dans cette expérience n°5 que dans l'expérience n°4, aussi bien pour celles qui ont réalisé les expériences le jour-même que pour les deux autres.

7.1.2.1.2. Hommes

Les résultats individuels de la mesure de fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT), pour la voix usuelle des hommes, sont présentés dans le Tableau 148. Nous observons un petit effet de la participation préalable à l'expérience n°4 sur la F0 ($F(1,1258)=68$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$) : elle est plus haute, en moyenne de 1dT, chez les participants issus de l'expérience n°4. La voix est donc plus aigüe chez eux. Pour ces six participants particuliers, la hauteur de la voix moyenne ne semble cependant pas varier entre l'expérience n°4 et l'expérience n°5. Cette observation se vérifie pour le seul homme qui n'a pas réalisé les deux expériences le même jour (♂_2 ; délai de 13 jours). En revanche, parmi les cinq autres hommes, qui ont réalisé les deux expériences le même jour (♂_1 , ♂_3 , ♂_4 , ♂_5 et ♂_6), dans cette expérience n°5, nous observons une diminution de F0 pour les participants ♂_3 et ♂_4 , par rapport à l'expérience n°4.

Les résultats individuels de la mesure d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en décibels (dB), pour les voix usuelles des hommes, sont aussi présentés dans le Tableau 148. Nous n'observons pas d'effet de la participation préalable à l'expérience n°4 sur la H1-H2 ($F(1,1260)=0$; $p=0,62$) : elle ne diffère pas de manière significative entre les nouveaux participants et les participants issus de l'expérience n°4. Pour ces six derniers, la voix semble pourtant plus soufflée dans cette expérience n°5. Cependant, pour l'homme qui n'a pas réalisé les

deux expériences le même jour ($\hat{\sigma}_2$), qui présentait une voix particulièrement soufflée, nous n’observons pas de grande variation entre l’expérience n°4 et n°5. Parmi les hommes qui ont réalisé les deux expériences le même jour ($\hat{\sigma}_1, \hat{\sigma}_3, \hat{\sigma}_4, \hat{\sigma}_5$ et $\hat{\sigma}_6$), dans cette expérience n°5, nous observons une diminution de H1-H2 pour les participants $\hat{\sigma}_1$ et $\hat{\sigma}_6$ et, au contraire, une augmentation de H1-H2 pour les participants $\hat{\sigma}_4$ et $\hat{\sigma}_5$, par rapport à l’expérience n°4.

Voix usuelles		Paramètres acoustiques			
		Données/mesures	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Hommes	Anciens	$\hat{\sigma}_1$	0,18	42 (2)	1 (3)
		$\hat{\sigma}_2$	0,90	44 (2)	11 (4)
		$\hat{\sigma}_3$	0,89	47 (1)	-1 (2)
		$\hat{\sigma}_4$	0,91	46 (2)	7 (3)
		$\hat{\sigma}_5$	0,93	49 (1)	6 (3)
		$\hat{\sigma}_6$	0,31	40 (1)	-1 (2)
		Moyenne (n=6)	–	46 (3)	5 (6)
	Nouveaux	$\hat{\sigma}_7$	0,90	45 (1)	4 (4)
		$\hat{\sigma}_8$	0,67	45 (1)	6 (3)
		$\hat{\sigma}_9$	0,86	46 (1)	3 (3)
		$\hat{\sigma}_{10}$	0,93	45 (2)	9 (4)
		$\hat{\sigma}_{11}$	0,52	45 (1)	3 (2)
$\hat{\sigma}_{12}$		0,70	43 (1)	3 (2)	
	Moyenne (n=6)	–	45 (2)	5 (4)	
	Moyenne (n=12)	–	45 (2)	5 (5)	

Données acoustiques : fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en décibels (dB) ; valeur moyenne (écart-type).

Tableau 147 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques de la voix usuelle chez les hommes

Chez les hommes, nous notons des difficultés de détection de la fréquence fondamentale (F0) qui conduisent à l’omission de certaines données dans cette pré-analyse. Dans le Tableau 148, nous remarquons en effet que seulement 18% des données ont été obtenues pour l’homme $\hat{\sigma}_1$, 31% pour l’homme $\hat{\sigma}_6$, 52% pour l’homme $\hat{\sigma}_{11}$, 67% pour l’homme $\hat{\sigma}_8$ et 70% pour l’homme $\hat{\sigma}_{12}$.

7.1.2.2. Autres types de voix

Dans l’analyse des voix contrôlées, puisque la fréquence fondamentale (F0) et l’amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) différaient toutes deux entre les hommes et les femmes, nous étudions les données obtenues en fonction du sexe du participant. Il s’agissait ici de

lire les items avec une voix plus aigüe que sa voix usuelle. Nous rappelons que l'enregistrement a été réalisé à la suite de trois autres enregistrements en voix aigüe (textes, phrases et mots).

7.1.2.2.1. Femmes

Voix aigüe		Paramètres acoustiques			
		Données/mesures	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Femmes	♀ ₁	0,89	70 (2) [+14]	-3 (6) [-11]	
	♀ ₂ *	0,90	63 (1) [+7]	11 (5) [+8]	
	Anciennes	♀ ₃ *	0,80	67 (1) [+11]	8 (8) [+4]
		♀ ₄	0,94	64 (1) [+7]	6 (4) [-0]
		♀ ₅	0,90	66 (2) [+9]	-2 (3) [-7]
		♀ ₆	0,97	61 (1) [+7]	6 (3) [-1]
		♀ ₇	0,97	65 (1) [+10]	0 (2) [-3]
	Nouvelles	♀ ₈	0,90	70 (1) [+17]	2 (8) [-6]
		♀ ₉	0,89	70 (1) [+14]	-7 (5) [-13]
		♀ ₁₀	0,95	60 (2) [+8]	10 (7) [-1]
		♀ ₁₁	0,96	64 (1) [+8]	1 (3) [-5]
		♀ ₁₂	0,94	65 (1) [+9]	-3 (5) [-13]

Données acoustiques : fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en décibels (dB) ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].

Résultats statistiques : effet non significatif en grisé foncé ; moyen effet en grisé clair.

** Femmes n'ayant pas participé le jour-même de l'expérience n°4.*

Tableau 148 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez les femmes

Les résultats individuels de la mesure de fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) et de la mesure de l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en décibels (dB), pour les productions contrôlées chez les femmes, sont présentés dans le Tableau 148. Les résultats statistiques des comparaisons intra-individuelles avec la voix usuelle sont présentés dans le Tableau 248, en annexe. Nous observons un grand effet de la consigne sur la F0 chez toutes les femmes : elle est significativement plus haute dans les productions vocales contrôlées que dans les productions usuelles. Ces 12 femmes ont donc réussi à respecter la consigne de produire une voix plus aigüe que leur voix usuelle. Chez sept d'entre elles, nous observons un effet de la consigne sur la H1-H2, avec des valeurs plus basses dans ces productions contrôlées, c'est-à-dire une voix plus pressée que la voix usuelle. En revanche, chez deux autres femmes (♀₂ et ♀₃) nous observons un effet inverse, avec des valeurs plus hautes dans les productions contrôlées, c'est-à-dire une voix plus soufflée que la voix usuelle. Il s'agissait des deux femmes qui avaient participé à l'expérience

n°4 de production 28 jours auparavant, et non le matin même. Cependant, pour la participante ♀₃, cet effet n'était pas grand. Enfin, chez les trois dernières femmes (♀₄, ♀₆ et ♀₁₀), dont deux ayant préalablement participé à l'expérience n°4 le matin-même, nous n'observons pas d'effet significatif de la consigne sur la H1-H2 dans cette expérience n°5.

7.1.2.2.2. Hommes

Voix aigüe		Paramètres acoustiques			
		Nombre (%)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Hommes	Anciens	♂ ₁	0,98	57 (2) [+15]	4 (4) [+3]
		♂ ₂ *	0,22	48 (2) [+3]	9 (5) [-1]
		♂ ₃	0,87	65 (1) [+18]	-1 (5) [+0]
		♂ ₄	0,95	54 (1) [+7]	10 (5) [+3]
		♂ ₅	0,98	58 (1) [+10]	3 (4) [-3]
		♂ ₆	0,91	59 (1) [+18]	10 (5) [+11]
	Nouveaux	♂ ₇	0,67	53 (5) [+8]	-2 (8) [-6]
		♂ ₈	0,99	64 (1) [+19]	-7 (4) [-13]
		♂ ₉	0,98	57 (1) [+11]	2 (4) [-1]
		♂ ₁₀	0,97	61 (1) [+16]	4 (5) [-5]
		♂ ₁₁	0,88	56 (2) [+11]	8 (5) [+5]
		♂ ₁₂	0,92	46 (1) [+3]	4 (3) [+1]

Données acoustiques : fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en décibels (dB) ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à la voix usuelle].

Résultats statistiques : effet non significatif en grisé foncé ; moyen effet en grisé clair.

** Homme n'ayant pas participé le jour-même de l'expérience n°4.*

Tableau 149 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez les hommes

Les résultats individuels de la mesure de fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) et de la mesure de l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en décibels (dB), pour les productions contrôlées chez les hommes, sont présentés dans le Tableau 149. Les résultats statistiques des comparaisons intra-individuelles avec la voix usuelle sont présentés dans le Tableau 249, en annexe. Nous observons un grand effet de la consigne sur la F0 chez tous les hommes : elle est significativement plus haute dans les productions vocales contrôlées que dans celles de voix usuelle. Ces 12 hommes ont donc aussi réussi à respecter la consigne de produire une voix plus aigüe que leur voix habituelle. Chez quatre d'entre eux, nous observons un effet de la consigne sur la H1-H2, avec des valeurs plus basses dans ces productions contrôlées, c'est-à-dire une voix plus pressée que la voix usuelle. En revanche, chez cinq hommes (♂₁, ♂₄, ♂₆, ♂₁₁ et

♂₁₂) nous observons un effet inverse, avec des valeurs plus hautes dans les productions contrôlées, c'est-à-dire une voix plus soufflée que la voix usuelle. Parmi eux, nous retrouvons trois hommes ayant participé à l'expérience n°4 de production le matin même. Cependant, chez les participants ♂₁ et ♂₄, l'effet statistique n'était pas grand. Enfin, chez les trois derniers hommes (♂₁, ♂₂ et ♂₉), nous n'observons pas d'effet significatif de la consigne sur la H1-H2.

Dans la voix aigüe chez les hommes, nous notons de nouveau des difficultés de détection de la fréquence fondamentale (F0) conduisant à l'omission de certaines données. Dans le Tableau 149, nous remarquons que seulement 22% des données ont été obtenues pour l'homme ♂₂ et 67% pour l'homme ♂₇. Il ne s'agit pas des hommes pour lesquels nous avons noté ces difficultés dans la voix usuelle.

7.1.2.3. Voix sélectionnées

Dans l'expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques, nous avons sélectionné toutes les voix contrôlées pour lesquelles les deux paramètres acoustiques mesurés, de fréquence fondamentale (F0) et d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), différaient significativement par rapport aux voix usuelles. De plus, nous n'avons retenu que les grands effets. Nous avons donc obtenu, chez les hommes comme chez les femmes, un même type de voix pour plusieurs participants : aigüe-pressée (f+). Par ailleurs, typiquement chez les hommes, nous avons aussi obtenu une voix aigüe-soufflée (tm) pour plusieurs participants. Les productions contrôlées, pour chaque type de voix, ont été regroupées et moyennées. Nous les comparons, chez les hommes et chez les femmes, à la totalité des productions de voix usuelle.

7.1.2.3.1. Femmes

Chez les femmes, nous avons exclu trois productions contrôlées pour lesquelles l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) ne variait pas de manière significative par rapport aux voix usuelles correspondantes et une production pour laquelle l'effet statistique de la consigne sur ce paramètre acoustique n'était pas grand. Nous avons donc observé huit productions, dont sept qui correspondaient à une voix aigüe-pressée (f+), c'est-à-dire respectivement avec une fréquence fondamentale (F0) plus haute et une H1-H2 plus basse que dans la voix usuelle. Nous n'avons pas inclus l'unique production de voix aigüe-soufflée (tm). Les moyennes de F0 et de H1-

H2 pour le type de voix sélectionné et les écarts moyens par rapport à l'ensemble des 12 voix usuelles sont présentés dans le Tableau 150. Le type de voix produit (usuelle ou f+) a de grands effets sur la F0 ($F(1,2.501)=8.348$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,77$) et sur la H1-H2 ($F(1,2.501)=452$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,15$).

Femmes		Données acoustiques	
		F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Voix	Aigüe-pressée (n=7)	66 (4) [+11]	1 (7) [-5]

Données acoustiques : fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en décibels (dB) ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à l'ensemble des voix usuelles].

Tableau 150 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques du type de voix sélectionné chez les femmes

7.1.2.3.2. Hommes

Hommes		Données acoustiques	
		F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Voix	Aigüe-pressée (n=4)	60 (5) [+14]	0 (7) [-5]
	Aigüe-soufflée (n=3)	53 (5) [+8]	7 (5) [+2]

Données acoustiques : fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en décibels (dB) ; valeur moyenne (écart-type) [écart moyen à l'ensemble des voix usuelles].
Résultats statistiques : petit effet en grisé.

Tableau 151 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques des types de voix sélectionnés chez les hommes

Chez les hommes, nous avons aussi exclu trois productions contrôlées pour lesquelles l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) ne variait pas significativement par rapport aux productions de voix usuelle correspondantes et les deux productions pour lesquelles l'effet de la consigne sur ce paramètre acoustique n'était pas grand. Nous avons donc retenu, d'une part, quatre productions pour lesquelles la H1-H2 était plus basse, donc la voix plus pressée et, d'autre part, trois productions pour lesquelles la H1-H2 était plus haute, donc la voix plus soufflée, que la voix usuelle. Dans les deux cas, la fréquence fondamentale (F0) était plus haute, donc la voix plus aigüe. Les moyennes de F0 et de H1-H2 pour les deux types de voix sélectionnés, ainsi que les écarts moyens par rapport à l'ensemble des 12 voix usuelles, sont présentés dans le Tableau 151. Le type de voix, pour la comparaison entre la voix usuelle (Us) et la voix aigüe-pressée (f+), a de grands effets sur la F0 ($F(1,1.777)=7.926$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,82$), ainsi que sur la H1-H2 ($F(1,1.779)=310$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,15$) et, pour la comparaison entre la voix Us et la voix aigüe-

soufflée (tm), il a également un grand effet sur la F0 ($F(1,1.655)=1.805$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,52$), mais seulement un petit effet sur la H1-H2 ($F(1,1.657)=82$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$).

7.1.3. Résumé

Dans les expériences de production avec des mesures physiques, nous avons tenté de faire varier l'effort phonatoire en donnant différentes consignes aux participants. Dans l'expérience n°4, certaines consignes n'étaient pas respectées, en particulier celles portant sur la qualité de la voix (soufflée et pressée) mais aussi, dans deux cas sur 12, la consigne de voix forte. En revanche, dans les deux expériences (n°4 et n°5), la consigne de voix aigüe a toujours été respectée. Cependant, elle n'entraînait pas toujours la variation du ou des autres paramètres acoustiques observés.

Ces deux expériences de production n'ont pas été réalisées dans les mêmes conditions et, notamment, pas avec les mêmes instruments de mesures. De plus, le niveau de pression sonore (SPL) n'a pas été mesuré dans l'expérience n°5. En conséquence, leur comparaison est délicate. Cependant, les productions récurrentes de voix aigüe-pressée (f+), observées dans l'expérience n°5, pourraient correspondre aux productions récurrentes de voix forte-aigüe-pressée (F+), qui ont été observées dans l'expérience n°4. De même, chez les hommes, les productions récurrentes de voix aigüe-soufflée (tm), observées dans l'expérience n°5, pourraient correspondre à celles de voix faible-aigüe-soufflée (Tm) qui ont été observées dans l'expérience n°4. Ce dernier type de voix ressemble à la voix produite dans le mécanisme 2 de phonation, pour lequel la vibration des plis vocaux est périodique mais non modale à proprement parler.

Les différents types de voix retenus pour les analyses suivantes n'ont pas été produits par tous les participants. Pourtant, nous les comparons aux productions de voix usuelle (Us) de l'ensemble des participants car nous considérons que celle-ci est produite sans un effort phonatoire spécial. D'après la physiologie de la phonation, le type de voix forte-aigüe-pressée (F+) devrait correspondre à un effort phonatoire plus important que le type de voix faible-grave-soufflée (F-).

7.2. Aérodynamiques et physiologiques :

Expérience n°4

Dans l'expérience n°4, de façon particulière, nous avons réalisé des mesures physiologiques et aérodynamiques. Certaines de ces mesures visaient à contrôler l'effort articulaire, notamment la pression mécanique de contact (MCP), mesurée au niveau du point d'articulation des consonnes sur la lèvre inférieure, et la résistance articulaire (AR), calculée en fonction de la pression intra-orale (IOP) et du débit du flux d'air oral ou trans-articulaire (TAF) pour les consonnes fricatives et les voyelles. D'autres mesures, visaient à évaluer l'effort phonatoire et consistaient à comparer des valeurs aérodynamiques entre les deux consonnes fricatives ou les deux consonnes occlusives, voisées et non voisées, dans un même train de syllabes. Ces mesures aérodynamiques d'écarts, que nous proposons, ne sont pas communément utilisées dans l'étude de l'effort phonatoire. Toutes ces mesures ont pu être réalisées sur les productions en parole vocale modale, usuelle (Us) ou non (F+, F-, Tf ou Tm), mais aussi sur les productions de parole vocale basale ou *fry* (Fr) et de parole chuchotée (Ch).

7.2.1. Articulateurs

Nous présentons ici deux mesures physiques d'évaluation de l'effort articulaire. Il s'agit, d'une part, de la pression mécanique de contact (MCP) au niveau de la lèvre inférieure pendant l'articulation des consonnes /v, f, b, p/ et, d'autre part, de la résistance articulaire (AR) pendant la production de la voyelle /a/ et des fricatives /v, f/. Pour chacune des mesures, nous présentons d'abord les valeurs en voix usuelle (Us), puis pour les différents types de voix sélectionnés chez les hommes (F+, Tm et F-) et chez les femmes (F+, Tf et F-) et, enfin, pour la parole vocale basale ou *fry* (Fr) et le chuchotement (Ch).

7.2.1.1. Pression mécanique de contact

La pression mécanique de contact (MCP) a été mesurée à l'aide d'un unique capteur, de 2 millimètres de diamètre environ, placé sur la lèvre inférieure des participants. La position de ce

capteur était déterminée empiriquement et pouvait donc être davantage adaptée à la mesure de la MCP pour les fricatives labiodentales /v, f/ ou pour les occlusives bilabiales /b, p/, selon l'individu. De plus, le capteur était placé dans une gaine, afin de le protéger de la salive, et pouvait se déplacer au cours de l'expérience. En conséquence, les résultats présentés ici sont à prendre avec précaution. Nous notons que les mesures de MCP étaient réalisées dans une unité arbitraire (u). Toutes les valeurs de MCP en fonction du sexe et du type de parole ou de voix sont exposées en annexe, pour l'ensemble des consonnes dans le Tableau 250, mais aussi en fonction du voisement de la consonne, dans le Tableau 251 pour les consonnes occlusives et Tableau 252 pour les fricatives.

7.2.1.1.1. Parole et voix usuelles

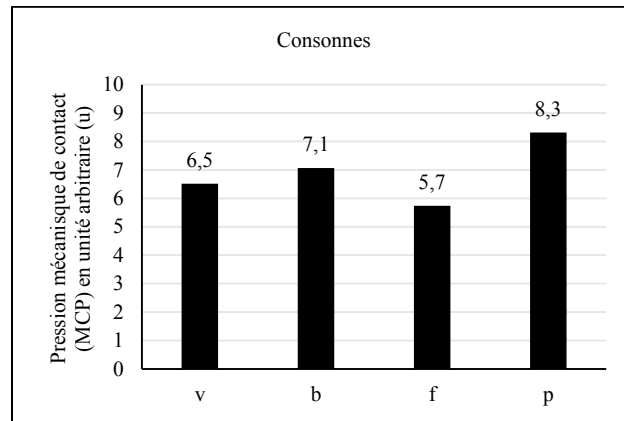


Figure 25 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; pression mécanique de contact des consonnes, dans la voix usuelle

Dans les 12 productions de voix usuelle (Us), nous observons un petit effet du sexe du participant sur la pression mécanique de contact (MCP) ($F(1,712)=21$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,03$) : elle est plus faible chez les femmes, avec une moyenne (m) de 6,3 unités (u) et un écart-type (σ) de 2,7u, que chez les hommes (m=7,8u et $\sigma=5,4u$). Par ailleurs, il n'existe pas d'effet simple du voisement sur la MCP ($F(1,712)=3$; $p=0,11$) mais nous observons un petit effet du mode articulaire ($F(1,712)=21$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,03$) : la MCP paraît plus faible pour les consonnes fricatives (m=6,1u et $\sigma=2,9u$) que pour les occlusives (m=7,7u et $\sigma=5,2u$). Encore une fois, cet effet pouvait être dû au positionnement du capteur. De plus, nous constatons une petite interaction du voisement de la consonne sur cet effet du mode ($F(1,710)=9$; $p=0,003$; $\eta^2=0,012$) : pour les consonnes occlusives, la MCP est plus faible pour les voisées que pour les non voisées, avec une

différence moyenne de 1,2u, et inversement pour les fricatives (0,8u). Les valeurs de MCP pour les quatre consonnes, chez l'ensemble des participants, sont présentées sur la Figure 25.

7.2.1.1.2. Autres types de voix

Chez les femmes, nous observons un moyen effet du type de voix produite sur la pression mécanique de contact (MCP) au niveau des articulateurs ($F(3,1.435)=33$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,064$) : elle est plus forte pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), avec une moyenne (m) de 11,0 unités (u) et un écart-type (σ) de 9,4u, ainsi que pour la voix faible-grave-soufflée (F- : m=10,8u et $\sigma=8,8u$) que pour la voix faible-grave-pressée (Tf : m=7,6u et $\sigma=4,4u$) et elle est la plus faible pour la voix usuelle (Us : m=6,3u et $\sigma=2,7u$). Il n'existe pas d'interaction significative du voisement de la consonne sur cet effet ($F(3,1.431)=0$; $p=0,87$). En revanche, il existe une petite interaction du mode articulaire ($F(3,1.431)=6$; $p=0,0004$; $\eta^2=0,012$) : l'effet observé entre les voix Us et F+ est plus important pour les consonnes fricatives, avec une différence moyenne de 6,5u, que pour les occlusives (3,4u). Il en va de même de l'effet observé entre les voix Us et Tf (fricatives : 2,5u ; occlusives : 0,3u). Au contraire, l'effet observé entre les voix Us et F- est plus important pour les occlusives (5,0u) que pour les fricatives (3,9u).

Chez les six hommes, nous observons un petit effet du type de voix produite sur la pression mécanique de contact (MCP) ($F(3,1.413)=19$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$) : elle est plus forte pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), avec une moyenne (m) de 10,5 unités et un écart-type (σ) de 7,1u, ainsi que pour la voix faible-grave-soufflée (F- : m=9,3u et $\sigma=5,3u$), que pour la voix faible-aigüe-soufflée (Tm : m=8,1u et $\sigma=3,6u$) et elle est la plus faible pour la voix usuelle (Us : m=7,8u et $\sigma=5,4u$). Il n'existe pas d'interaction significative du voisement de la consonne sur cet effet ($F(3,1.409)=0$; $p=0,82$). Il n'existe pas non plus d'interaction significative du mode articulaire de la consonne mais nous observons une tendance ($F(3,1.409)=3$; $p=0,016$) : l'effet observé entre les voix Us et F- semble plus important pour les consonnes fricatives que pour les occlusives.

7.2.1.1.3. Autres types de parole

En ce qui concerne les autres productions étudiées, chez l'ensemble des 12 participants, nous observons un moyen effet du type de parole sur la pression mécanique de contact (MCP) au niveau de la lèvre inférieure ($F(2,1.782)=127$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,12$) : elle est plus forte pour la parole vocale basale ou *fr*y (Fr), avec une moyenne (m) de 14,8 unités et un écart-type (σ) de 11,6u, que

pour le chuchotement (Ch : $m=12,7u$ et $\sigma=9,5u$) et pour ce dernier que pour la parole usuelle (Us : $m=7,1u$ et $\sigma=4,5u$). Il n'existe pas d'interaction significative du voisement de la consonne sur cet effet ($F(2,1.779)=0$; $p=0,97$). En revanche, il existe une petite interaction du mode articuloire ($F(2,1.779)=15$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,015$) : les effets observés entre les types de parole, Us et Fr d'une part et Us et Ch d'autre part, sont plus importants pour les consonnes fricatives, avec des différences moyennes respectives de 10,6u et 7,8u, que pour les occlusives (Fr : 5,3 ; Ch : 3,8).

7.2.1.2. Résistance articuloire

La résistance articuloire (AR) à l'écoulement de l'air a été calculée en divisant la valeur de pression intra-orale (IOP), mesurée en hectopascals (hPa) par la valeur correspondante de débit du flux d'air oral ou trans-articuloire (TAF), mesurée en litres par seconde (L/s). Cette mesure de résistance ne pouvait pas être appliquée aux consonnes occlusives, pour lesquelles le TAF est nul. Pour les fricatives, les mesures aérodynamiques ont été réalisées au niveau du point maximal d'IOP, qui correspond au plus grand degré de fermeture articuloire, alors que, pour les voyelles, elles ont été réalisées au niveau du point minimal d'IOP, qui correspond au plus grand degré d'ouverture articuloire. Toutes les valeurs d'AR pour les consonnes fricatives en fonction du sexe, du type de parole ou de voix et du voisement sont exposées en annexe, dans le Tableau 253. Les valeurs d'AR pour les voyelles sont, quant à elles, présentées dans le Tableau 254, en annexe.

7.2.1.2.1. Parole et voix usuelles

Dans les productions usuelles (Us), il n'existe pas d'effet significatif du sexe sur la résistance articuloire (AR) des voyelles ($F(1,1.108)=0$; $p=0,69$) ou des consonnes fricatives ($F(1,557)=1$; $p=0,30$). Par ailleurs, il existe un petit effet du voisement de la consonne sur l'AR ($F(1,557)=9$; $p=0,003$; $\eta^2=0,02$) : elle est plus faible pour la consonne fricative non voisée /f/, avec une moyenne (m) de 20,1 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) et un écart-type (σ) de 11,6hPa/L/s, que pour les fricatives voisées /v/ ($m=23,3hPa/L/s$ et $\sigma=13,4hPa/L/s$).

7.2.1.2.2. Autres types de voix

Chez les femmes, nous observons un moyen effet du type de voix produite sur la résistance articuloire (AR) pour les voyelles ($F(3,2.117)=73$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,09$) : elle est plus forte pour

la voix faible-grave-pressée (Tf), avec une moyenne (m) de 1,7 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) et un écart-type (σ) de 1,7hPa/L/s, que pour la voix usuelle (Us : $m=0,7\text{hPa/L/s}$ et $\sigma=0,4\text{hPa/L/s}$), la voix forte-aigüe-pressée (F+ : $m=0,5\text{hPa/L/s}$ et $\sigma=1,5\text{hPa/L/s}$) ou la voix faible-grave-soufflée (F- : $m=0,4\text{hPa/L/s}$ et $\sigma=0,8\text{hPa/L/s}$).

Chez ces femmes, nous observons également un moyen effet du type de voix sur la résistance articulaire (AR) pour les consonnes fricatives ($F(3,1.075)=37$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,09$), avec le classement suivant, de la plus forte à la plus faible : voix forte-aigüe-pressée (F+) avec une moyenne (m) de 26,8 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) et un écart-type (σ) de 17,8hPa/L/s, voix faible-grave-pressée (Tf : $m=22,2\text{hPa/L/s}$ et $\sigma=11,3\text{hPa/L/s}$), voix faible-grave-soufflée (F- : $m=18,4\text{hPa/L/s}$ et $\sigma=11,4\text{hPa/L/s}$) et, enfin, voix usuelle (Us : $m=14,2\text{hPa/L/s}$ et $\sigma=8,8\text{hPa/L/s}$). Il n'existe pas d'interaction significative du voisement de la consonne sur cet effet, mais nous apercevons une tendance ($F(3,1.071)=4$; $p=0,014$) : l'effet observé entre les voix Us et F+ semble plus important pour les consonnes non voisées, tandis que l'effet observé entre les voix Us et F- semble plus important pour les voisées, et qu'il ne semble pas exister de différence selon le voisement de la consonne pour l'effet observé entre les voix Us et Tf.

Chez les hommes, l'effet du type de voix produite sur la résistance articulaire (AR) des voyelles est négligeable ($F(3,1.965)=6$; $p=0,0009$; $\eta^2=0,008$) : nous observons qu'elle semble plus forte pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), avec une moyenne (m) de 0,9 hectopascals par litre et pas seconde (hPa/L/s) et un écart-type (σ) de 1,8hPa/L/s, alors qu'elle semble plus faible pour la voix faible-aigüe-soufflée (Tm : $m=0,5\text{hPa/L/s}$ et $\sigma=0,2\text{hPa/L/s}$).

Chez ces hommes, il existe, par ailleurs, un petit effet de la voix sur la résistance articulaire (AR) des consonnes fricatives ($F(3,979)=8$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : elle est plus forte pour la voix usuelle (Us), avec une moyenne (m) égale à 21,1 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) et un écart-type (σ) de 13,8hPa/L/s, ou pour la voix faible-aigüe-soufflée (Tm : $m=21,2\text{hPa/L/s}$ et $\sigma=13,3\text{hPa/L/s}$), que pour la voix forte-aigüe-pressée (F+ : $m=18,2\text{hPa/L/s}$ et $\sigma=9,1\text{hPa/L/s}$) et elle est la plus faible pour la voix faible-grave-soufflée (F- : $m=16,0\text{hPa/L/s}$ et $\sigma=7,7\text{hPa/L/s}$). Nous n'observons pas cependant d'interaction significative du voisement de la consonne sur cet effet ($F(1,975)=3$; $p=0,05$).

7.2.1.2.3. Autres types de parole

Chez l'ensemble des participants, nous constatons un petit effet du type de parole produite sur la résistance articuloire (AR) des voyelles ($F(2,2.323)=45$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$) : elle est plus faible pour la parole vocale basale ou *fry* (Fr), avec une moyenne (m) de 0,4 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) et un écart-type (σ) de 0,5hPa/L/s, que pour la parole usuelle (Us : m=0,7hPa/L/s et $\sigma=0,8$ hPa/L/s), et pour cette dernière que pour la parole chuchotée (Ch : m=1,0hPa/L/s et $\sigma=1,4$ hPa/L/s).

Par ailleurs, il existe un petit effet de la parole sur la résistance articuloire (AR) des consonnes fricatives ($F(2,1.241)=22$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,03$) : elle est plus forte pour la parole vocale basale ou *fry* (Fr) avec une moyenne (m) de 29,4 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) et un écart-type (σ) de 20,2hPa/L/s, que pour la parole usuelle (Us : m=21,7hPa/L/s et $\sigma=12,6$ hPa/L/s) ou pour la parole chuchotée (Ch : m=21,5hPa/L/s et $\sigma=16,7$ hPa/L/s). De plus, nous observons une petite interaction du voisement de la consonne sur cet effet ($F(2,1.238)=17$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : l'effet observé entre les types de parole Us et Fr est plus important pour les consonnes non voisées /f/, avec une différence moyenne (m) de 14,0 hPa/L/s, que pour les voisées /v/ (1,7hPa/L/s). Pour la parole Us, comme nous l'avons exposé précédemment, l'AR est plus grande pour les consonnes voisées, avec une différence moyenne de 4,6hPa/L/s, alors que, pour la parole Ch, nous constatons que l'AR est plus grande pour les consonnes non voisées (4,3hPa/L/s).

7.2.1.3. Résumé

En ce qui concerne la parole et la voix usuelles (Us), les indices de pression mécanique de contact (MCP) au niveau labial et de résistance articuloire (AR), pour les consonnes fricatives, sont plus élevés pour la consonne voisée /v/ que pour sa correspondante non voisée /f/. Cet état de fait ne varie pas significativement pour les autres types de voix. En revanche, il est inversé dans la parole chuchotée (Ch). Au contraire, pour les consonnes occlusives, la MCP est plus élevée pour la consonne non voisée /p/ que pour sa correspondante voisée /b/, quel que soit le type de parole ou de voix. Enfin, l'AR des voyelles est très faible, c'est-à-dire inférieure à 1 hectopascal par litre et par seconde (hPa/L/s), voire nulle, dans toutes les productions, exceptée la voix faible-grave-pressée typiquement observée chez les femmes (Tf), où elle atteint une moyenne de 1,7hPa/L/s.

7.2.2. Phonatoires

Les indices aérodynamiques de l'effort phonatoire que nous présentons ici ont spécialement été développés dans cette étude. Puisqu'il n'existe pas de mesure non invasive de la différence de pression d'air autour de la glotte (ΔGP) et du flux d'air trans-glottique (TGF), nous avons proposé deux mesures d'écart entre les consonnes voisées et non voisées correspondantes, dans chaque train de syllabes produit. Ces mesures reposent sur la supposition d'une pression sous-glottique (SGP) constante pendant l'expiration phonatoire, quel que soit le degré de constriction au niveau du plan glottique. La première mesure proposée vise à estimer l'écart de résistance glottique (GR) entre les consonnes fricatives voisées et non voisées et la seconde vise à estimer l'écart de ΔGP entre les consonnes occlusives voisées et non voisées. Les valeurs de ces deux écarts estimés, en fonction du sexe et du type de parole ou de voix, sont exposées dans le Tableau 255, en annexe.

7.2.2.1. Ecart de résistance glottique

En supposant la pression sous-glottique (SGP) constante pendant la production d'un train de syllabe, nous avons estimé l'écart de résistance glottique (GR) entre les consonnes fricatives, selon leur voisement. Nous avons calculé cet écart comme le rapport entre la différence de pression sus-glottique ou intra-orale (IOP) entre la consonne non voisée et la consonne voisée, mesurée en hectopascals (hPa), et la différence de débit du flux d'air trans-articulatoire (TAF) entre ces deux consonnes, mesuré en litres par seconde (L/s). Nous indiquons que, si cet indice est positif, la GR est supérieure pour les voisées alors que, s'il est négatif, la GR est supérieure pour les non voisées.

7.2.2.1.1. Parole et voix usuelles

Dans les productions usuelles, il n'existe pas d'effet significatif du sexe du participant sur l'écart estimé de résistance glottique (GR) entre les consonnes fricatives, voisée et non voisée ($F(1,265)=1 ; p=0,23$). Cependant, l'écart semble plus grand pour les femmes, avec une moyenne de 14,9 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) que chez les hommes, pour qui la moyenne correspond à 10,4hPa/L/s. Dans tous les cas, notre indice suggère une GR estimée plus grande pour la consonne fricative voisée /v/ que pour sa correspondante non voisée /f/.

7.2.2.1.2. Autres types de voix

Chez les femmes, nous n'observons pas d'effet du type de voix produite sur l'écart estimé de résistance glottique (GR) entre les consonnes fricatives, voisée et non voisée ($F(3,496)=1$; $p=0,65$). Pourtant, en observant les résultats, il semble que cet écart soit plus petit pour la voix faible-grave-soufflée (F-) avec une moyenne de 9,3 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) que pour la voix usuelle (Us), dont la moyenne égale 14,9hPa/L/s.

Chez les hommes, nous n'observons pas non plus d'effet du type de voix sur l'écart estimé de résistance glottique (GR) entre les consonnes fricatives, voisée et non voisée ($F(3,461)=2$; $p=0,20$), mais il semble que cet écart soit plus grand pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), avec une moyenne de 15,6 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) que pour la voix usuelle (Us), pour laquelle la moyenne est de 10,4hPa/L/s.

7.2.1.2.3. Autres types de parole

Chez l'ensemble des participants, nous observons un moyen effet du type de parole produite sur l'écart estimé de résistance glottique (GR) entre les consonnes fricatives, voisée et non voisée ($F(2,576)=25$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,08$) : il est plus grand pour la parole vocale basale ou *fry* (Fr), avec une moyenne (m) de 28,8 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) et un écart-type (σ) de 46,4hPa/L/s, que pour la parole usuelle (Us : $m=12,7$ hPa/L/s et $\sigma=30$ hPa/L/s) alors qu'il est inversé, avec une GR estimée semblant plus grande pour la consonne fricative non voisée /f/ que pour la voisée /v/, dans la parole chuchotée (Ch : $m=[-4,6]$ hPa/L/s et $\sigma=47,5$ hPa/L/s).

7.2.2.2. Ecart de différence de pression autour de la glotte

En supposant la pression sous-glottique (SGP) constante pendant la production d'un train de syllabes et l'occlusion labiale totale pendant la production des consonnes occlusives, non voisée et voisée, nous estimons que l'écart de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) correspond à la différence de pression sus-glottique ou intra-orale (IOP) entre ces deux consonnes, mesurée en hectopascals (hPa). Nous indiquons que, si cet indice est positif, cela signifie que la ΔGP est supérieure pour la consonne occlusive voisée /b/ alors que, s'il est négatif, cela signifie que la ΔGP est supérieure pour la non voisée correspondante /p/.

7.2.2.2.1. Parole et voix usuelles

Dans les productions usuelles, il n'existe pas d'effet significatif du sexe du participant sur l'écart estimé de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) entre les consonnes occlusives, voisée et non voisée ($F(1,271)=1$; $p=0,22$). Dans tous les cas, la ΔGP semble plus grande pour la consonne occlusive voisée /b/ que pour sa correspondante non voisée /p/.

7.2.2.2.2. Autres types de voix

Chez les femmes, nous observons un moyen effet du type de voix produite sur l'écart estimé de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) entre les consonnes occlusives, voisée et non voisée ($F(3,519)=26$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,13$) : il est plus grand pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), avec une moyenne (m) de 3,0 hectopascals (hPa) et un écart-type (σ) de 2,1hPa, que pour la voix usuelle (Us : $m=2,3$ hPa et $\sigma=1,3$ hPa) et pour cette dernière que pour les voix faible-grave-soufflée (F- : $m=1,5$ hPa et $\sigma=1,2$ hPa) et faible-grave-pressée (Tf : $m=1,5$ hPa et $\sigma=1,0$ hPa).

Chez les hommes, nous observons un grand effet du type de voix produite sur l'écart estimé de différence de pression glottique (ΔGP) entre les consonnes occlusives, voisée et non voisée ($F(3,478)=29$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,16$) : il est de nouveau plus grand pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), avec une moyenne (m) de 3,4 hectopascals (hPa) et un écart-type (σ) de 2,0hPa, que pour la voix usuelle (Us : $m=2,1$ hPa et $\sigma=1,3$ hPa) ou la voix faible-aigüe-soufflée (Tm : $m=1,8$ hPa et $\sigma=2,0$ hPa) et il est le plus petit pour la voix faible-grave-soufflée (F- : $m=1,5$ hPa et $\sigma=1,3$ hPa).

7.2.2.2.3. Autres types de parole

Chez l'ensemble des participants, nous observons un grand effet du type de parole sur l'écart estimé de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) entre les consonnes occlusives voisées et non voisées ($F(2,612)=160$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,34$) : il est plus grand pour la parole vocale basale ou *fr* (Fr), avec une moyenne (m) de 3,1 hectopascals (hPa) et un écart-type (σ) de 1,5hPa, que pour la parole usuelle (Us : $m=2,2$ hPa et $\sigma=1,3$ hPa), et pour cette dernière que pour la parole chuchotée (Ch : $m=0,7$ hPa et $\sigma=1,1$ hPa).

7.2.2.3. Résumé

Les deux indices aérodynamiques, de l'écart de résistance glottique (GR) pour les consonnes fricatives et de l'écart de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) pour les occlusives, ont des résultats semblables : les valeurs de ΔGP semblent plus élevées pour la consonne occlusive voisée /b/ que pour la non voisée correspondante /p/ et les valeurs de GR semblent plus élevées pour la consonne fricative voisée /v/ que pour la non voisée correspondante /f/. Les écarts observés entre consonnes voisées et non voisées semblent plus importants pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), et moins importants pour la voix faible-grave-soufflée (F-), que pour la voix usuelle (Us). De plus, ces écarts semblent plus importants dans la production de la parole vocale basale ou *fr*y (Fr), réalisée avec une vibration aperiodique des plis vocaux (mécanisme 0 de phonation), que dans la parole usuelle (Us), réalisée avec une vibration périodique des plis vocaux (mécanisme 1 de phonation), et ils semblent moins importants lors de la production d'une friction glottique dans la parole chuchotée (Ch). Et, dans la parole chuchotée uniquement, les valeurs de GR semblent plus élevées pour la consonne fricative non voisée /f/ que pour la voisée correspondante /v/.

7.3. Acoustiques : Indices de contrôle

Dans les expériences n°4 et n°5 de production, nous avons réalisé des mesures acoustiques couramment présentées dans les études de l'effort phonatoire et de l'effort articulaire. D'une part, nous avons réalisé des mesures de durée, à partir de notre segmentation phonémique manuelle du signal acoustique, pour les voyelles et pour les consonnes intervocaliques. Dans l'expérience n°4, nous avons aussi réalisé des mesures de durée à partir d'indices aérodynamiques et physiologiques pour les consonnes. D'autre part, nous avons mesuré le taux de voisement (V%) de ces consonnes intervocaliques. Nous présentons brièvement ici les résultats obtenus.

7.3.1. Expérience n°4

Dans l'expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques, nous avons étudié les syllabes centrales dans des trains de syllabes. Dans ce cas, toutes les consonnes observées se situaient en position intervocalique. Nous rappelons que seules les

consonnes antérieures /f, v, p, b/ ont été utilisées dans cette expérience. Nous pouvons donc réaliser des comparaisons de consonnes en fonction de leur voisement (non voisées – voisées), ainsi que de leur mode articulaire (fricatives – occlusives). En revanche, les voyelles observées se situaient toutes entre deux consonnes différentes. Nous n'avons donc pas étudié de facteurs de variation consonantique dans leur cas. En ce qui concerne les productions de parole vocale basale ou *fr* (Fr) et chuchotée (Ch), nous avons ici pu étudier les durées segmentales.

7.3.1.1. Articulaire : Durées segmentales

Dans cette expérience n°4, nous avons étudié les durées des voyelles et des consonnes en fonction de notre segmentation manuelle du signal acoustique. Cependant, pour les consonnes, nous disposions aussi d'une mesure physiologique de pression mécanique de contact (MCP) au niveau de la lèvre inférieure, ainsi que d'une mesure aérodynamique du débit du flux d'air oral ou trans-articulaire (TAF). Ces deux paramètres physiques sont supposés varier avec l'articulation de la consonne et comportent deux pics : le premier situé au début de la consonne et le second situé à la fin. Pour les consonnes, dans les productions usuelles, nous avons donc aussi étudié les durées physiologiques, entre les pics négatif et positif de MCP, et aérodynamiques, entre les deux pics positifs de TAF. Toutes les valeurs de durées en fonction du sexe des participants, du type de parole ou de voix, du voisement et du mode articulaire de la consonne, ainsi que de la méthode de mesure employée sont présentées dans des tableaux en annexe, du Tableau 256 au Tableau 261. Les durées segmentales des voyelles sont, quant à elles, exposées dans le Tableau 254.

7.3.1.1.1. Parole et voix usuelles

Dans les productions usuelles, nous observons un petit effet du sexe du participant sur la durée segmentale des voyelles ($F(1,1.422)=75 ; p<0,0001 ; \eta^2=0,05$) : elle est plus longue chez les femmes, avec une moyenne (m) de 0,329 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,103s, que chez les hommes ($m=0,281s$ et $\sigma=0,107s$).

Il existe aussi un moyen effet du sexe du participant sur la durée segmentale des consonnes ($F(1,1.115)=131 ; p<0,0001 ; \eta^2=0,11$) : contrairement aux voyelles, elles sont plus courtes chez les femmes, avec une moyenne (m) de 0,161 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,056s, que chez les hommes ($m=0,201s$ et $\sigma=0,060s$). Nous observons le même effet sur la durée aérodynamique

(aéro) des consonnes ($F(1,921)=86$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,09$) et sur leur durée physiologique (physio) ($F(1,706)=67$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,09$), qui sont plus courtes chez les femmes (aéro : $m=0,147s$ et $\sigma=0,061s$; physio : $m=0,120s$ et $\sigma=0,058s$) que chez les hommes (aéro : $m=0,188s$ et $\sigma=0,071s$; physio : $m=0,157s$ et $\sigma=0,059s$).

Dans les comparaisons appariées, nous constatons un moyen effet de la méthode de mesure de la durée des consonnes ($F(2,1.202)=349$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,10$) : elles apparaissent plus longues lorsque nous les mesurons à partir de notre segmentation manuelle, avec une moyenne (m) de 0,193 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,064s, ou à partir du paramètre aérodynamique de pic de débit du flux d'air oral ou trans-articulatoire (TAF ; $m=0,185s$ et $\sigma=0,071s$), que lorsque nous les mesurons à partir du paramètre physiologique de pression mécanique de contact entre les articulateurs (MCP ; $m=0,143$ et $\sigma=0,061$). Cependant, les valeurs de durées obtenues sur le signal acoustique sont corrélées à 71% avec celles obtenues sur le signal aérodynamique ($z=27$; $p<0,0001$) et à 75% avec celles obtenues sur le signal physiologique ($z=26$; $p<0,0001$). A noter que les deux dernières ne présentent qu'une corrélation de 56% ($z=16$; $p<0,0001$).

Par ailleurs, il existe un grand effet du voisement sur la durée segmentale des consonnes ($F(1,1.115)=339$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,23$) : elle est plus courte pour les consonnes voisées, avec une moyenne (m) de 0,151 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,052s, que pour les non voisées ($m=0,211s$ et $\sigma=0,055s$). Il n'existe qu'un petit effet du voisement sur la durée aérodynamique des consonnes ($F(1,921)=23$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : elle est cependant toujours plus courte pour les consonnes voisées ($m=0,158s$ et $\sigma=0,063s$) que pour les non voisées ($m=0,180s$ et $\sigma=0,074s$). De même, il n'existe qu'un petit effet du voisement des consonnes sur leur durée physiologique ($F(1,706)=25$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,03$), mais les voisées sont toujours plus courtes ($m=0,129s$ et $\sigma=0,059s$) que les non voisées ($m=0,152s$ et $\sigma=0,062s$).

Ensuite, si nous n'observons pas d'effet du mode articulatoire sur la durée segmentale des consonnes mesurée à partir du signal acoustique ($F(1,1.115)=2$; $p=0,22$), nous constatons un grand effet de ce paramètre sur la durée aérodynamique ($F(1,921)=192$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,17$) : elle apparaît plus courte pour les consonnes fricatives, avec une moyenne (m) de 0,136 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,064s, que pour les occlusives ($m=0,195s$ et $\sigma=0,064s$). Nous observons aussi un petit effet inverse du mode articulatoire des consonnes sur leur durée physiologique

($F(1,706)=43$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,058$) : elle apparaît plus longue pour les consonnes fricatives ($m=0,159s$ et $\sigma=0,064s$) que pour les occlusives ($m=0,129s$ et $\sigma=0,056s$).

De plus, nous observons une petite interaction entre le voisement et le mode articuloire de la consonne pour la durée segmentale ($F(1,1.113)=27$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : l'effet du voisement est plus grand pour les consonnes fricatives, avec une différence moyenne de 0,075 secondes (s), que pour les occlusives (0,043s). Nous observons une petite interaction inverse pour la durée aérodynamique ($F(1,919)=12$; $p=0,0006$; $\eta^2=0,0101$) : l'effet du voisement apparaît plus petit pour les consonnes fricatives, avec une différence moyenne de 0,007s, que pour les occlusives (0,036s). Mais, enfin, il n'existe pas d'interaction entre le voisement et le mode articuloire des consonnes pour la durée physiologique ($F(1,704)=2$; $p=0,20$). Toutes ces mesures de durées sont illustrées par la Figure 26.

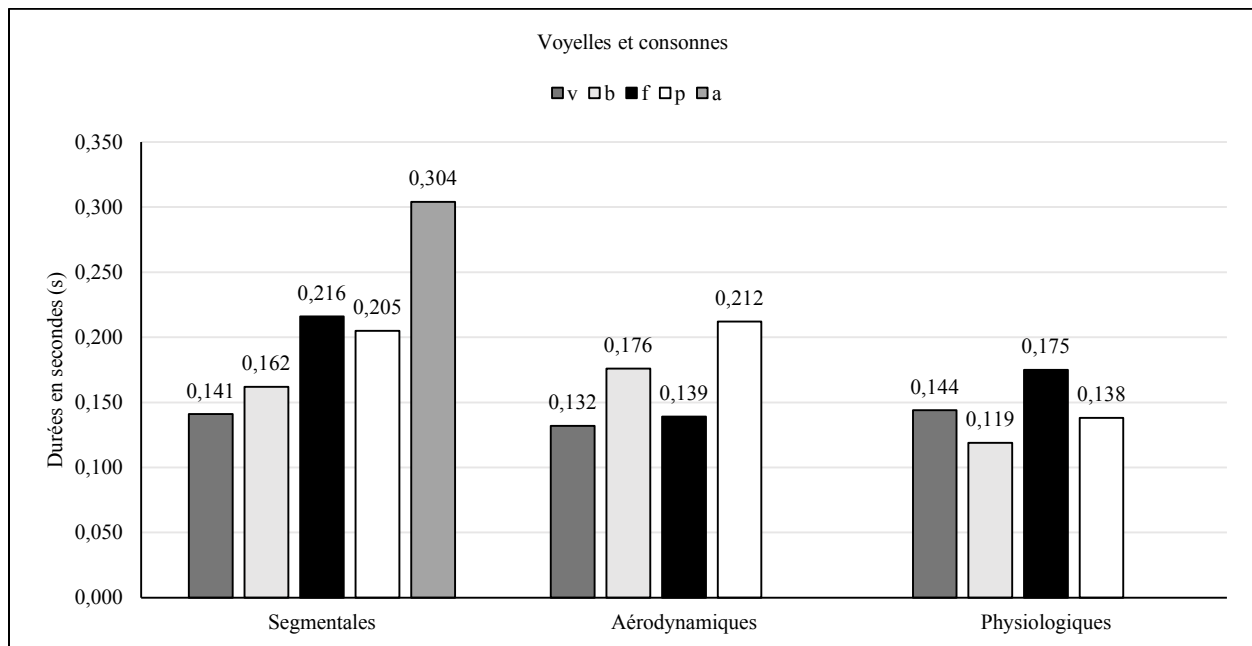


Figure 26 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; durées des phonèmes, mesurées selon différentes méthodes, dans la voix usuelle

7.3.1.1.2. Autres types de voix

Chez les femmes, il existe un grand effet du type de voix produite sur la durée segmentale des voyelles ($F(3,2.728)=499$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,35$) : elle est plus longue pour la voix faible-grave-soufflée (F-), avec une moyenne (m) de 0,457 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,088s,

que pour les voix usuelle (Us : $m=0,329s$ et $\sigma=0,103s$) ou forte-aigüe-pressée (F+ : $m=0,332s$ et $\sigma=0,062s$), et pour ces dernières que pour la voix faible-grave-pressée (Tf : $m=0,273s$ et $\sigma=0,058s$).

Chez ces femmes, il existe aussi un petit effet de la voix sur la durée segmentale des consonnes ($F(3,2.145)=34$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$) : elle est plus courte pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), avec une moyenne (m) de 0,130 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,033s, que pour les voix faible-grave-soufflée (F- : $m=0,169s$ et $\sigma=0,198s$) ou usuelle (Us : $m=0,161s$ et $\sigma=0,056s$) et pour ces dernières que pour la voix faible-grave-pressée (Tf : $m=0,193s$ et $\sigma=0,057s$). L'interaction du voisement de la consonne sur cet effet apparaît négligeable ($F(3,2.141)=5$; $p=0,0017$; $\eta^2=0,006$) : il semble cependant que l'effet entre les voix Us et F+ soit plus important pour les consonnes voisées et que l'effet entre les voix Us et F- soit plus important pour les consonnes non voisées. Enfin, il n'existe pas d'interaction significative du mode articuloire de la consonne sur l'effet de la voix ($F(3,2.141)=1$; $p=0,52$).

Chez les hommes, il existe un petit effet de la voix sur la durée des voyelles ($F(3,2.503)=42$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$) : elle est plus longue pour la voix faible-grave-soufflée (F-), avec une moyenne (m) de 0,294 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,054s, ou pour la voix usuelle (Us : $m=0,281s$ et $\sigma=0,107s$) que pour la voix forte-aigüe-pressée (F+ : $m=0,250s$ et $\sigma=0,103s$) ou pour la voix faible-aigüe-soufflée (Tm : $m=0,232s$ et $\sigma=0,048s$).

De plus, chez les hommes, il existe un moyen effet de la voix sur la durée segmentale des consonnes ($F(3,1.965)=103$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,135$) : elle est plus courte pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), avec une moyenne (m) de 0,157 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,047s, que pour les voix usuelle (Us : $m=0,201s$ et $\sigma=0,060s$), faible-grave-soufflée (F- : $m=0,200s$ et $\sigma=0,050s$) ou faible-aigüe-soufflée (Tm : $m=0,194s$ et $\sigma=0,051s$). Nous n'observons pas d'interaction du voisement ($F(3,1.961)=1$; $p=0,47$) ou du mode articuloire de la consonne ($F(3,1.961)=3$; $p=0,04$) sur cet effet.

7.3.1.1.3. Autres types de parole

Chez l'ensemble des participants, nous observons un grand effet du type de parole sur la durée des voyelles ($F(1,3.212)=363$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,18$) : elle est plus longue dans la parole vocale basale ou *fr*y (Fr), avec une moyenne (m) de 0,404s et un écart-type (σ) de 0,091s, que dans

la parole usuelle (Us : $m=0,304s$ et $\sigma=0,108s$) et dans cette dernière que dans la parole chuchotée (Ch : $m=0,274s$ et $\sigma=0,087s$).

Il existe, par ailleurs, un petit effet du type de parole sur la durée segmentale des consonnes ($F(2,2.512)=63$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$) : elle est plus courte dans la parole vocale basale ou *frÿ* (Fr), avec une moyenne (m) de 0,148 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,041s, que dans la parole chuchotée (Ch : $m=0,172s$ et $\sigma=0,046s$), et dans cette dernière que dans la parole usuelle (Us : $m=0,181s$ et $\sigma=0,061s$). De plus, nous observons une petite interaction du voisement de la consonne sur cet effet ($F(2,2.509)=24$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : les effets observés, en comparaison avec la parole usuelle, sont plus grands pour les consonnes voisées, avec une différence moyenne de 0,043 pour Fr et de 0,023s pour Ch, que pour les non voisées (Fr : 0,022s ; Ch : 0,006s). Enfin, nous n’observons pas d’interaction significative du mode articulaire de la consonne sur l’effet du type de parole ($F(2,2.509)=3$; $p=0,03$).

7.3.1.2. Phonatoire : Taux de voisement

Pour l’expérience n°4, toutes les valeurs de taux de voisement (V%) en fonction du sexe des participants, du type de voix et du voisement de la consonne sont présentées en annexe, dans le Tableau 260 pour les consonnes fricatives et dans le Tableau 261 pour les occlusives.

7.3.1.2.1. Parole et voix usuelles

Dans les productions usuelles, il existe un effet significatif du sexe du participant sur le taux de voisement (V%) des consonnes, même si celui-ci apparaît négligeable ($F(1,1.108)=7$; $p=0,01$; $\eta^2=0,006$) : il semble que le V% soit plus important chez les femmes, avec une moyenne (m) de 43 pourcents (%) et un écart-type (σ) de 45%, que chez les hommes ($m=36\%$ et $\sigma=42\%$). Il existe évidemment un grand effet du voisement de la consonne sur le V% ($F(1,1.108)=642$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,37$) : il est plus important pour les consonnes voisées ($m=66\%$ et $\sigma=44\%$) que pour les non voisées ($m=13\%$ et $\sigma=23\%$). Il existe aussi un moyen effet du mode articulaire sur le V% ($F(1,1.108)=120$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,10$) : il est plus important pour les consonnes fricatives ($m=53\%$ et $\sigma=53\%$) que pour les occlusives ($m=0,26$ et $\sigma=0,37$). Nous constatons, par ailleurs, qu’il existe une moyenne interaction entre le voisement et le mode articulaire de la consonne ($F(1,1.106)=144$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,061$) : comme nous pouvons l’observer sur la Figure 27,

l'effet du voisement sur le V% est plus important pour les consonnes fricatives, avec une différence moyenne de 75%, que pour les occlusives (32%).

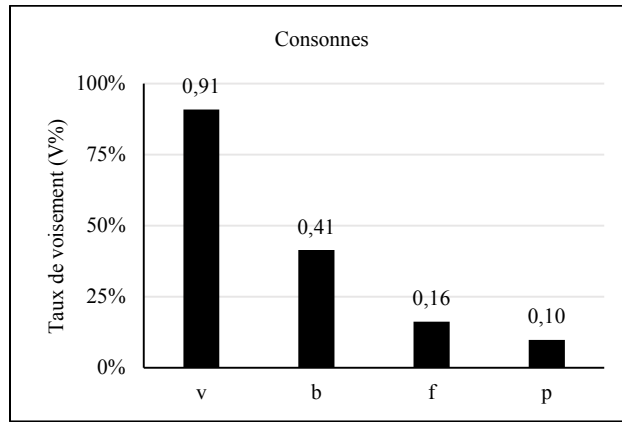


Figure 27 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ;
taux de voisement des consonnes, dans la voix usuelle

7.3.1.2.1. Autres types de voix

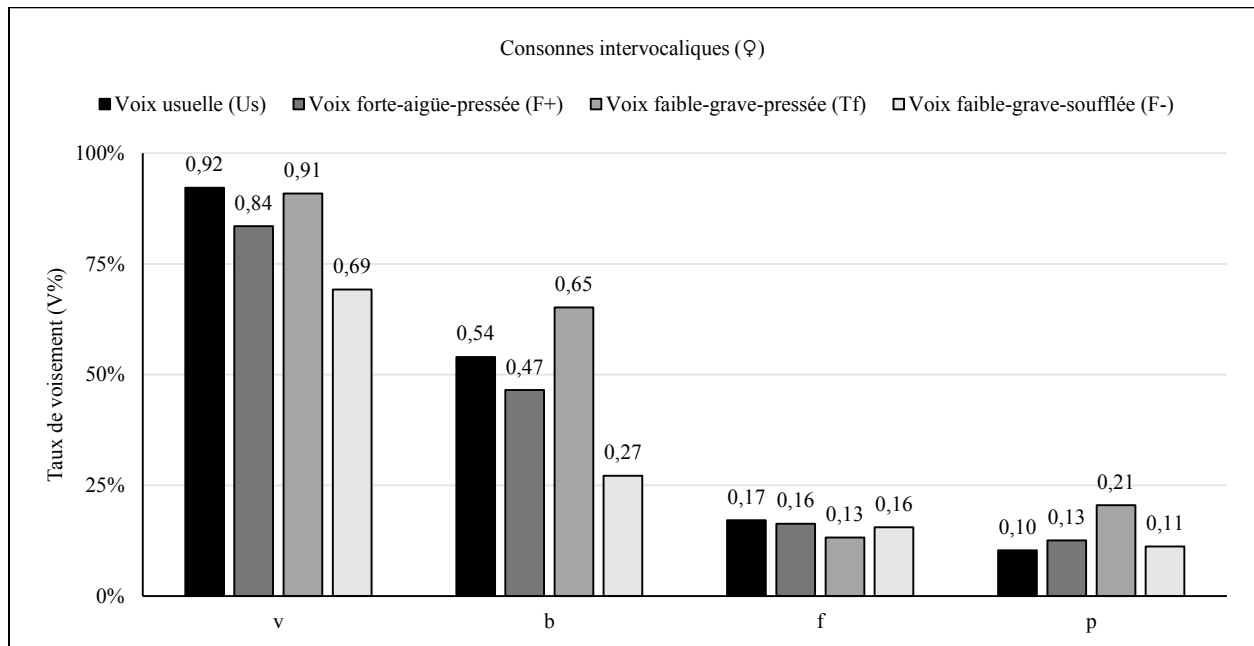


Figure 28 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ;
taux de voisement des consonnes en fonction du type de voix, chez les femmes

Chez les six femmes, il existe un petit effet du type de voix produite sur le taux de voisement (V%) des consonnes ($F(3,2.110)=10$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,014$) : il est plus important pour la voix faible-grave-pressée (Tf), avec une moyenne (m) de 53 pourcents (%) et un écart-type (σ) de 44%,

que pour les voix usuelle (Us : $m=47\%$ et $\sigma=45\%$) ou forte-aigüe-pressée (F+ : $m=39\%$ et $\sigma=45\%$), et pour ces dernières que pour la voix faible-grave-soufflée (F- : $m=31\%$ et $\sigma=41\%$). De plus, nous observons une petite interaction du voisement de la consonne sur cet effet ($F(3,2.106)=10$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,012$) : notamment, l'effet observé entre les voix Us et Tf est plus grand pour les consonnes voisées, avec une différence moyenne de 24%, que pour les non voisées (0%). Enfin, nous n'observons pas d'interaction significative du mode articulaire de la consonne sur l'effet de la voix ($F(3,2.106)=2$; $p=0,09$). Tous ces résultats sont illustrés par la Figure 28.

Chez les hommes, il existe un effet significatif de la voix sur le taux de voisement (V%) de la consonne, mais celui-ci apparaît négligeable ($F(3,1.941)=6$; $p=0,0008$; $\eta^2=0,009$) : il semble plus important pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), avec une moyenne (m) de 36 pourcents (%) et un écart-type (σ) de 43%, et pour la voix usuelle (Us : $m=36\%$ et $\sigma=42\%$) que pour les voix faible-grave-soufflée (F- : $m=28\%$ et $\sigma=38\%$) ou faible-aigüe-soufflée (Tm : $m=27\%$ et $\sigma=28\%$). Par ailleurs, il existe une interaction significative du voisement de la consonne sur cet effet, même si celle-ci apparaît négligeable ($F(3,1.937)=6$; $p=0,0003$; $\eta^2=0,008$) : les effets observés pour les voix F- ou Tm, par rapport à la voix Us, semblent plus importants pour les consonnes voisées. Enfin, nous n'observons pas d'interaction significative du mode articulaire de la consonne sur cet effet de la voix ($F(3,1.937)=1$; $p=0,29$). Tous ces résultats sont illustrés par la Figure 29.

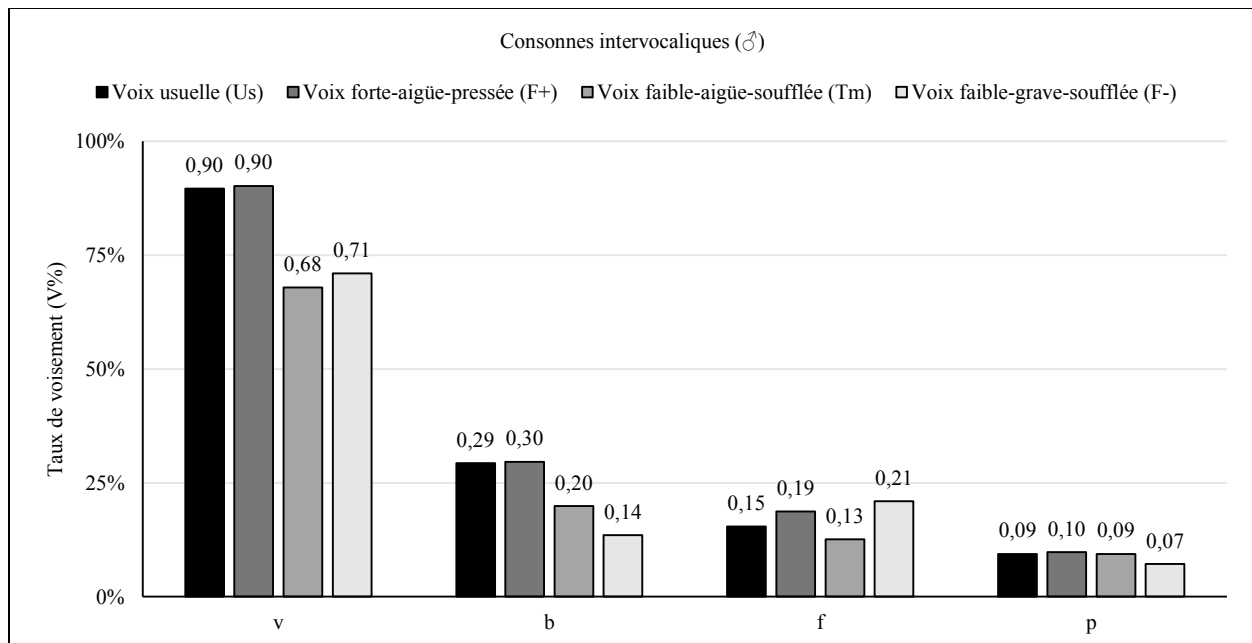


Figure 29 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; taux de voisement des consonnes en fonction du type de voix, chez les hommes

7.3.2. Expérience n°5

Dans l'expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques, nous avons étudié des items isolés : syllabes simples directes (consonne-voyelle : #CV) ou indirectes (voyelle-consonne : VC#) et logatomes dissyllabiques simples (voyelle-consonne-voyelle : VCV). Seules les consonnes placées dans des structures VCV, en position intervocalique, ont été observées. Par ailleurs, ici, les 12 consonnes /f, v, s, z, ʃ, ʒ, p, b, t, d, k, g/ ont été utilisées. Nous pouvons donc réaliser des comparaisons de consonnes en fonction de leur voisement (non voisée – voisée), de leur mode articulaire (fricative – occlusive) et de leur lieu articulaire (antérieure – médiane – postérieure). Enfin, les voyelles observées se situaient soit en position pré-consonantique, soit en position post-consonantique. Nous étudions donc les facteurs de variation consonantique dans leur cas.

7.3.2.1. Articulaire : Durées segmentales

7.3.2.1.1. Parole et voix usuelles

Nous présentons d'abord les durées des consonnes et des voyelles dans les productions de voix usuelle, en confondant les hommes et les femmes. Cependant, si le sexe du participant n'a pas d'effet sur la durée des consonnes intervocaliques ($F(1,866)=2$; $p=0,20$), il a tout de même un moyen effet sur la durée des voyelles ($F(1,3.472)=224$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,061$), qui sont plus longues, en moyenne de 0,018 secondes (s), chez les femmes.

Dans les productions de voix usuelle, nous observons que le voisement a un grand effet sur la durée consonantique ($F(1,866)=1.143$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,57$) : elle est plus courte pour les consonnes voisées, avec une moyenne (m) de 0,083 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,019s, que pour les non voisées (m=0,132s et $\sigma=0,024$ s). Le mode articulaire a un petit effet sur la durée de ces consonnes intervocaliques ($F(1,866)=39$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$) : elle est plus courte pour les consonnes occlusives (m=0,101s et $\sigma=0,028$ s) que pour les fricatives (m=0,115s et $\sigma=0,035$ s). De plus, nous observons une petite interaction entre ces paramètres de voisement et le mode articulaire ($F(1,864)=27$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,012$) : la différence de durée entre les consonnes occlusives et fricatives est plus petite pour les voisées, avec une moyenne de 0,006s, que pour les

non voisées (0,020s). En effet, sur la Figure 30, nous observons que les consonnes fricatives non voisées /f, v, ʃ/ sont plus longues que les occlusives non voisées /p, t, k/ et que ces dernières sont plus longues que les consonnes fricatives et occlusives voisées /v, z, ʒ, b, d, g/. Par ailleurs, le lieu articulatoire des consonnes n'a pas d'effet significatif sur leur durée ($F(2,865)=1$; $p=0,30$).

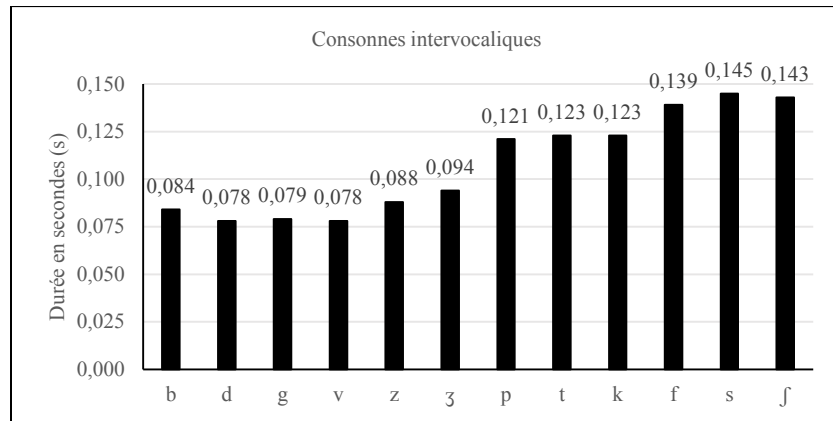


Figure 30 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; durées segmentales des consonnes, dans la voix usuelle

Dans les productions usuelles, nous observons un moyen effet de la position de la voyelle sur sa durée ($F(1,3.472)=291$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,08$) : elle est plus longue dans la position post-consonantique, avec une moyenne (m) de 0,154 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,036s, que dans la position pré-consonantique ($m=0,134s$ et $\sigma=0,035s$). Nous observons aussi un petit effet de la structure de l'item sur la durée ($F(1,3.472)=263$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,07$) : elle est plus longue dans les syllabes simples #CV ou VC# ($m=0,154s$ et $\sigma=0,036s$) que dans les logatomes dissyllabiques VCV ($m=0,134s$ et $\sigma=0,035s$). Par ailleurs, nous observons un petit effet du voisement de la consonne sur la durée des voyelles ($F(1,3.469)=193$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$) : elle est plus longue dans les items comportant une consonne voisée ($m=0,153s$ et $\sigma=0,037s$) que dans les items comportant une consonne non voisée ($m=0,136s$ et $\sigma=0,035s$). De plus, cet effet est plus important pour les voyelles pré-consonantiques, avec une différence moyenne de 0,024s, que pour les voyelles post-consonantiques (0,011s), bien que l'interaction de ces deux paramètres semble négligeable ($F(1,3.467)=32$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,008$). Sur la Figure 31, nous notons que la voyelle pré-consonantique dans la structure VC# est plus longue dans le cas des consonnes fricatives voisées /v, z, ʒ/ et, dans une moindre mesure, dans le cas des non voisées correspondantes /f, s, ʃ/.

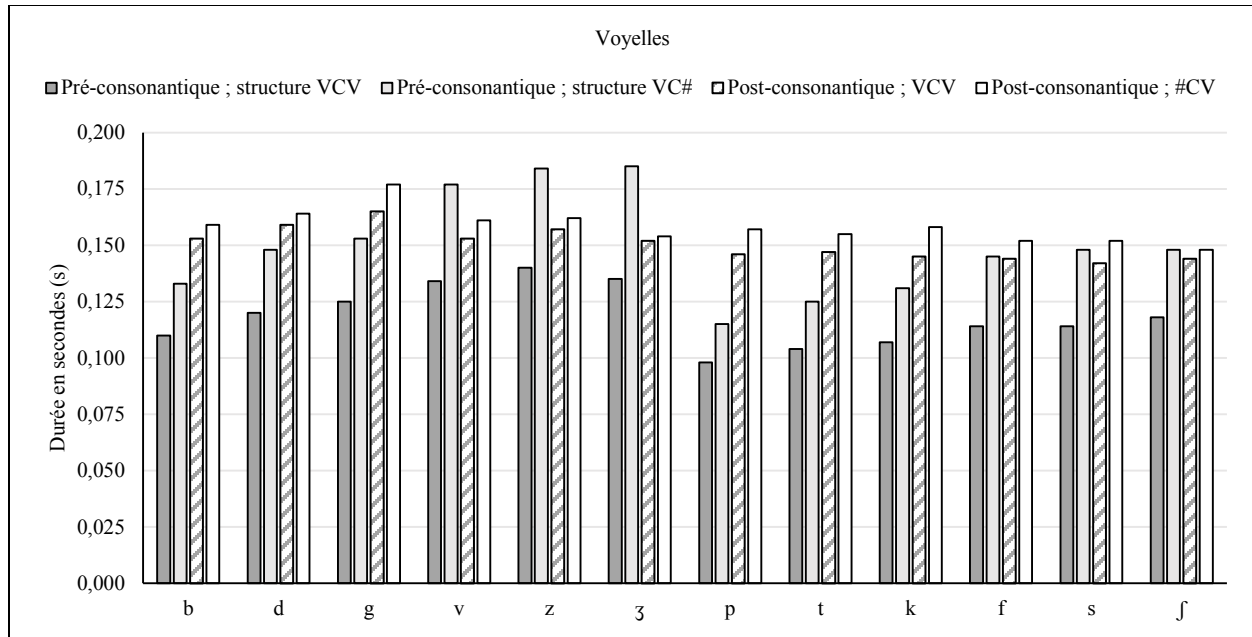


Figure 31 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; durées segmentales des voyelles en fonction de leur position et de la structure syllabique, dans la voix usuelle

7.3.2.1.2. Autres types de voix

Chez les femmes, nous constatons que le type de voix a un petit effet sur la durée de la consonne ($F(1,683)=53$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,014$) : elle est plus courte pour la voix aigüe-pressée (f+), avec une moyenne (m) de 0,103 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,026s, que pour la voix usuelle (Us : m=0,109s et $\sigma=0,031s$). Cet effet paraît plus important pour les consonnes non voisées, avec une différence moyenne de 0,010s, que pour les voisées (0,002s), bien que l'interaction de ces deux paramètres soit statistiquement négligeable ($F(1,681)=7$; $p=0,007$; $\eta^2=0,005$).

Chez ces femmes, il existe aussi un moyen effet du type de voix sur la durée de la voyelle ($F(1,2.747)=293$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,10$) : elle est plus longue pour la voix f+, avec une moyenne (m) de 0,183 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,050 s, que pour la voix Us (m=0,153s et $\sigma=0,039s$). Il n'existe pas d'interaction du voisement de la consonne sur cet effet ($F(1,2.742)=2$; $p=0,12$). En revanche, il existe une petite interaction de la position de la voyelle ($F(1,2.745)=53$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,014$) : la différence de durée entre les deux voix est plus importante pour les voyelles post-consonantiques, en moyenne de 0,041s, que pour les pré-consonantiques (0,018s).

Chez les hommes, nous constatons que le type de production a un petit effet sur la durée de la consonne ($F(2,685)=12$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,03$) : contrairement à l'effet observé chez les femmes, cette durée est plus longue pour la voix aigüe-pressée (f+), avec une moyenne (m) de 0,122 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,040s, que pour la voix usuelle (Us : m=0,106s et $\sigma=0,033$ s) et pour la voix aigüe-soufflée (tm : m=0,104s et $\sigma=0,033$ s). Cet effet est plus important pour les consonnes non voisées, avec une différence moyenne de 0,021s entre les voix Us et f+ et une différence de 0,005s entre les voix Us et tm, que pour les voisées (f+ : 0,009s ; tm : 0,001s), bien que l'interaction de ces deux paramètres soit statistiquement négligeable ($F(2,682)=5$; $p=0,0099$; $\eta^2=0,007$).

Chez ces hommes, il existe aussi un moyen effet du type de voix sur la durée de la voyelle ($F(2,2.749)=334$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,20$) : elle est plus longue pour la voix aigüe-pressée (f+), avec une moyenne (m) de 0,197 secondes (s) et un écart-type (σ) de 0,090s, que pour la voix aigüe-soufflée (tm : m=0,145s et $\sigma=0,037$ s), et pour cette dernière que pour la voix usuelle (Us : m=0,135s et $\sigma=0,032$ s). Là encore, il n'existe pas d'interaction du voisement de la consonne sur cet effet ($F(2,2,744)=0$; $p=0,82$). En revanche, il existe une interaction de la position de la voyelle, bien qu'elle apparaisse négligeable ($F(2,2,746)=9$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,005$) : les différences de durée, entre les voix Us et f+ d'une part et entre les voix Us et tm d'autre part, sont plus importantes pour les voyelles post-consonantiques, en moyenne de 0,072s et 0,015s, respectivement, que pour les pré-consonantiques (f+ : 0,053s ; tm : 0,005s).

7.3.2.2. Phonatoire : Taux de voisement

7.3.2.2.1. Parole et voix usuelles

Dans les productions de voix usuelle, nous n'observons pas d'effet du sexe du participant sur le taux de voisement (V%) des consonnes intervocaliques ($F(1,781)=0$; $p=0,57$). Le grand effet du voisement de la consonne est le suivant ($F(1,781)=1.613$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,67$) : le V% est plus important pour les consonnes voisées, avec une moyenne (m) de 92 pourcents (%) et un écart-type (σ) de 23%, que pour les consonnes non voisées (m=12% et $\sigma=33$ %). En revanche, nous n'observons pas d'effet du mode ($F(1,781)=2$; $p=0,18$) ou du lieu articulatoire de la consonne ($F(2,781)=1$; $p=0,31$) sur le V%. Pourtant, il existe une interaction, bien que statistiquement

négligeable, entre le voisement et le lieu articulaire ($F(1,781)=1.613$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,67$) : comme illustré par la Figure 32, le V% est plus bas pour les consonnes postérieures voisées /ʒ, g/.

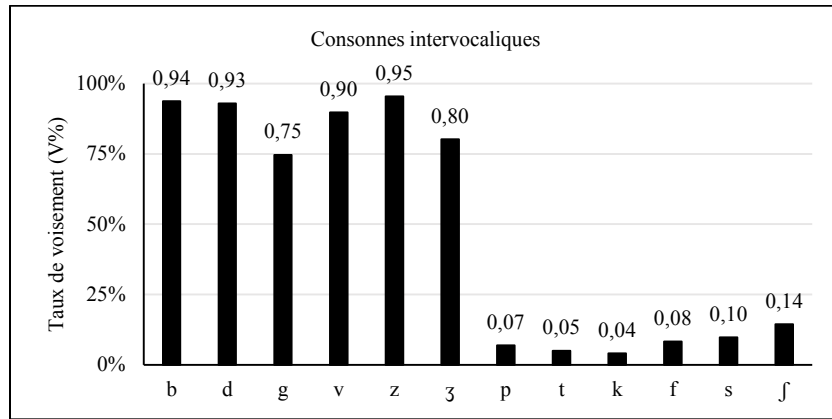


Figure 32 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; taux de voisement des consonnes, dans la voix usuelle

7.3.2.2.2. Autres types de voix

Chez les femmes, le type de voix produite a un petit effet sur le taux de voisement (V%) ($F(1,620)=12$; $p=0,0007$; $\eta^2=0,02$) : il est plus bas, avec une moyenne (m) de 30 pourcents (%) et un écart-type (σ) de 45%, pour la voix aigüe-pressée (f+) que pour la voix usuelle (Us : m=43% ; $\sigma=48\%$). Il existe une interaction du voisement de la consonne sur cet effet ($F(1,618)=22$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : la différence V% entre les deux voix est plus importante, en moyenne de 29%, pour les consonnes voisées que pour les non voisées (3%). Sur la Figure 33, nous remarquons que la diminution du V% dans la production de la voix f+ concerne les consonnes /v, z, b, d, g/.

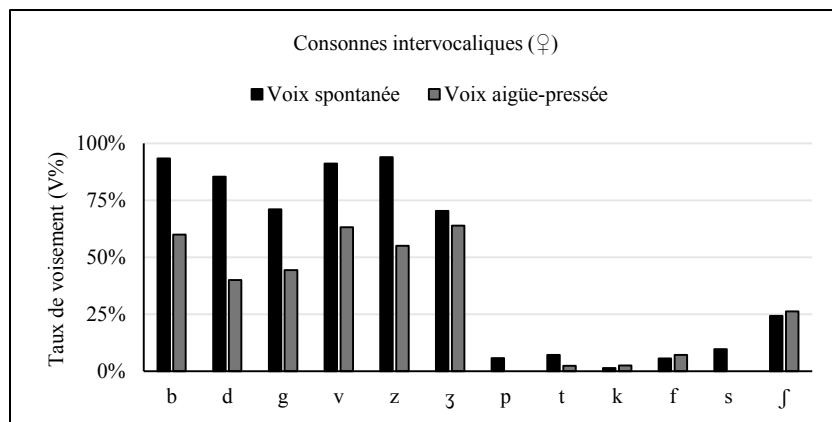


Figure 33 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; taux de voisement des consonnes en fonction du type de voix, chez les femmes

Chez les hommes, le type de voix produite n'a pas d'effet significatif sur le taux de voisement (V%), pour toutes les consonnes confondues ($F(1,618)=1$; $p=0,41$). En revanche, il existe une petite interaction entre le type de voix produite et le voisement de la consonne ($F(1,615)=10$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,013$) : notamment, pour les consonnes voisées, le V% est plus bas, en moyenne de 18 pourcents (%), dans la voix aigüe-pressée (f+) que dans la voix usuelle (Us). Sur la Figure 34, nous remarquons que la diminution du V% concerne notamment les consonnes /v, z, b, d/. Pour la voix aigüe-soufflée (tm), nous n'observons pas de tendance particulière.

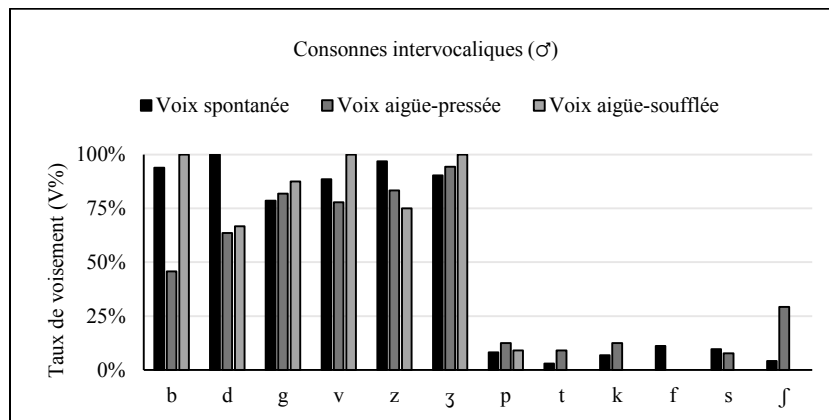


Figure 34 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; taux de voisement des consonnes en fonction du type de voix, chez les hommes

7.3.3. Résumé

Dans ces deux expériences de production, la durée segmentale usuelle des consonnes voisées était plus courte que celle des consonnes non voisées. Dans l'expérience n°4, ceci est confirmé par des mesures basées sur des paramètres physiologiques et aérodynamiques. Cependant, dans ces deux expériences qui, rappelons-le, d'une part ne portaient pas sur le même matériel phonétique et d'autre part ne permettait pas la sélection des voix étudiées sur les mêmes critères, le type de voix produite n'avait pas les mêmes effets sur les durées segmentales et le taux de voisement (V%) des consonnes intervocaliques. Dans l'expérience n°4, les durées vocaliques (voyelles médiales) et le V% étaient réduits pour la voix faible-grave-soufflée (F-) par rapport aux voix usuelle (Us) et forte-aigüe-pressée (F+), chez les hommes et les femmes. De plus, les durées consonantiques étaient allongées pour la voix F+ par rapport aux voix Us et F-, chez les femmes, alors qu'il n'y avait pas de différences entre ces voix chez les hommes. Dans l'expérience n°5, les durées

vocaliques (voyelles initiales et finales) étaient allongées tandis que le V% était réduit dans les consonnes voisées pour la voix aigüe-pressée (f+), par rapport à la voix Us, chez les hommes comme chez les femmes. De plus, chez les femmes, les durées consonantiques étaient réduites pour la voix f+ par rapport à la voix Us alors que, chez les hommes, elles étaient allongées.

Par ailleurs, dans l'expérience n°4, les durées vocaliques (médiales) étaient plus grandes pour la parole modale basale ou *fry* (Fr) que pour la parole usuelle (Us), et pour cette dernière que pour la parole chuchotée (Ch), tandis que les durées consonantiques étaient plus courtes dans la parole Fr que dans la parole Ch, et dans cette dernière que dans la parole Us.

7.4. Acoustiques : Indices explorés

Dans les expériences n°4 et n°5 de production, nous avons aussi testé de nouvelles mesures acoustiques de l'effort phonatoire. Il s'agissait de la fréquence fondamentale relative, dans sa version originale (RFF) proposée par Stepp et dans notre version adaptée (RFF_a). Nous rappelons que la version originale de cette mesure repose sur la comparaison de fréquences instantanées (F_i) cycle par cycle, et porte sur les 10 derniers cycles vibratoires de la voyelle pré-consonantique et les 10 premiers de la voyelle post-consonantique. Au niveau de la terminaison vocalique, tous les cycles sont comparés au premier alors que, au niveau de l'initiation, ils sont comparés au dernier. Ces mesures permettent d'obtenir des courbes qui, bien que visuellement parlantes, sont difficiles à comparer. Nous avons donc choisi le point le plus extrême, c'est-à-dire le dernier pour les voyelles pré-consonantiques et le premier pour les voyelles post-consonantiques, afin d'effectuer les analyses statistiques. Nous rappelons aussi que notre version adaptée repose sur la comparaison de moyennes de F_i , obtenues sur les trois derniers cycles pour la voyelle pré-consonantique et les trois premiers pour la voyelle post-consonantique, avec la moyenne de fréquence fondamentale (F_0) mesurée au niveau du centre de gravité de la voyelle, sur une fenêtre de temps égale à trois fois et demie la durée moyenne des cycles vibratoires dans cette même voyelle. Nous présentons en même temps les résultats des deux techniques de mesures, afin de faciliter leur comparaison.

Pour rappel, nous nous attendons à un effet inverse de l'effort phonatoire sur les consonnes voisées postvocaliques et non voisées pré-vocaliques. En effet, la fréquence fondamentale relative originale (RFF) est censée former une courbe descendante et être donc basse à la terminaison des

voyelles précédant une consonne voisée du fait de l'amortissement de la vibration des plis vocaux. Au contraire, la RFF est censée former une courbe descendante et être donc haute à l'initiation des voyelles suivant une consonne non voisée du fait de l'état des plis vocaux pendant sa réalisation. Comme expliqué précédemment, nous estimons que l'augmentation de l'effort pour maintenir la vibration des plis vocaux pendant la production d'une consonne voisée, limitera la diminution de la RFF à la terminaison des voyelles précédentes, qui sera alors plus haute que pour la voix usuelle, tandis que cette augmentation de l'effort pour initier la vibration des plis vocaux dans la voyelle suivant les consonnes non voisées, limitera la hauteur à laquelle la RFF débute, qui sera alors plus basse que pour la voix usuelle. Cependant, dans une optique exploratoire, nous observons les effets de l'effort phonatoire sur l'indice, à la terminaison des voyelles pré-consonantiques et à l'initiation des voyelles post-consonantiques, aussi bien pour les consonnes voisées que pour les non voisées.

7.4.1. Expérience n°4

Dans l'expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques, puisque nous avons étudié les syllabes centrales dans des trains de syllabes, toutes les consonnes observées sont précédées et suivies d'une voyelle. Dans cette expérience particulière, pour des raisons techniques, nous n'avons étudié que les consonnes antérieures /f, v, p, b/. Nous pouvons donc comparer uniquement les paramètres de voisement et le mode articulaire. Toutes les valeurs de fréquence fondamentale relative, originale (RFF) et adaptée (RFF_a), en fonction du sexe des participants, du type de voix, du voisement et du mode articulaire de la consonne sont exposées dans des tableaux en annexe, du Tableau 264 au Tableau 271.

7.4.1.1. Parole et voix usuelles

Pour l'ensemble des participants, les courbes de fréquence fondamentale relative originale (RFF) sont dessinées sur la Figure 35 et les droites de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) sont dessinées sur la Figure 36. Dans les comparaisons appariées, nous constatons un petit effet de la méthode de mesure à la terminaison vocalique ($F(2,1.088)=93$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,014$) : la RFF est plus basse, avec une moyenne (m) de [-0,7] demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 0,9dT, que la RFF_a (m=[-0,4]dT et $\sigma=1,1$ dT). Cependant, les valeurs sont corrélées à 67% ($z=27$; $p<0,0001$). Il existe par ailleurs un effet significatif mais négligeable de la méthode de mesure à

l'initiation vocalique ($F(2,1.055)=167 ; p<0,0001 ; \eta^2=0,0097$) : la RFF est plus haute ($m=0,7dT$ et $\sigma=1,7dT$) que la RFF_a ($m=0,4dT$ et $\sigma=1,3dT$). Les valeurs sont ici corrélées à 91% ($z=50 ; p<0,0001$).

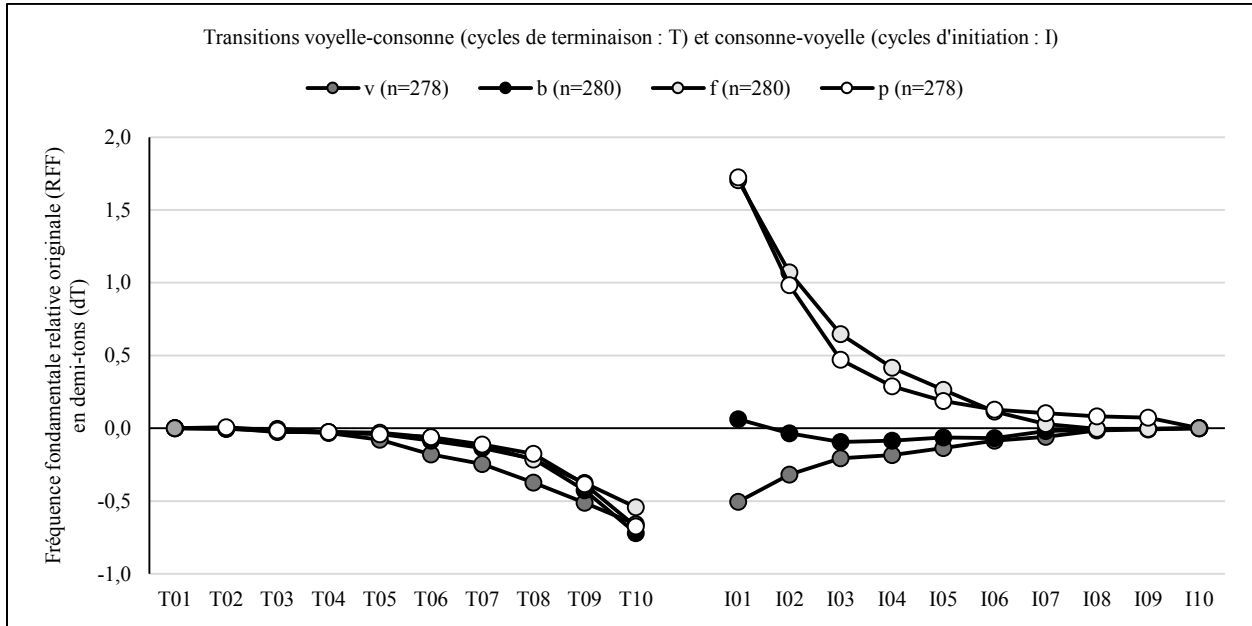


Figure 35 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale des consonnes, dans la voix usuelle

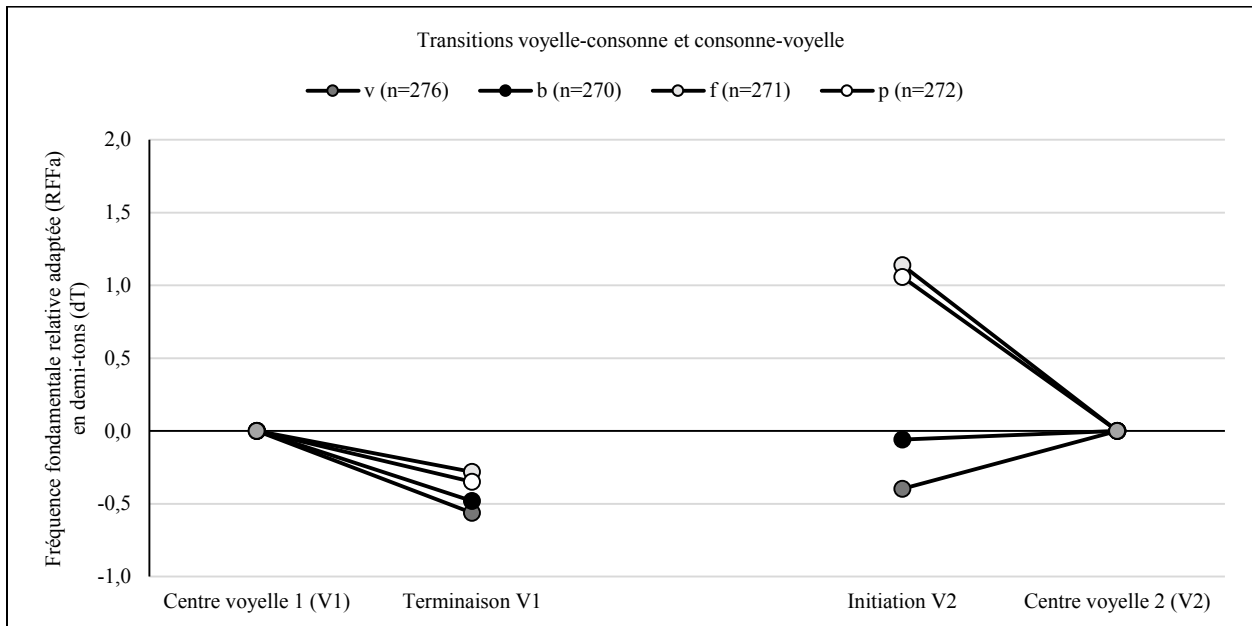


Figure 36 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée des consonnes, dans la voix usuelle

A la terminaison des voyelles, dans les productions usuelles, nous observons un moyen effet du sexe du participant sur la fréquence fondamentale relative, originale (RFF) ($F(1,1.110)=172$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,13$) et adaptée (RFF_a) ($F(1,1.087)=114$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,09$) : elles sont toutes deux plus basses pour les hommes, avec une moyenne (m) égale à [-1,0] demi-ton (dT) et un écart-type (σ) égal à 1,1dT pour la RFF (RFF_a : m=[-0,7]dT et $\sigma=1,3$ dT), que pour les femmes (RFF : m=[-0,3]dT et $\sigma=0,6$ dT ; RFF_a : m=[-0,1]dT et $\sigma=0,7$ dT). Cependant, nous ne retrouvons pas d'effet significatif du voisement de la consonne pour la RFF ($F(1,1.110)=2$; $p=0,14$) et seulement un effet négligeable pour la RFF_a ($F(1,1.087)=10$; $p=0,0014$; $\eta^2=0,009$). Dans ce dernier cas, elle semble plus basse pour les consonnes voisées (m=[-0,5]dT et $\sigma=1,0$ dT) que pour les non voisées (m=0,3dT et $\sigma=1,1$ dT). Il n'existe pas d'effet significatif du mode articulatoire de la consonne sur la RFF ($F(1,1.110)=3$; $p=0,08$) ou sur la RFF_a ($F(1,1.087)=0$; $p=0,91$).

A l'initiation des voyelles, dans ces productions usuelles, nous constatons un petit effet du sexe du participant sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(1,1.060)=57$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$) et un moyen effet de ce paramètre sur la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(1,1.054)=71$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,063$) : elles sont plus hautes pour les femmes, avec une moyenne (m) de 1,1 demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,7dT pour la RFF (RFF_a : m=0,8dT et $\sigma=1,3$ dT), que pour les hommes (RFF : m=0,3dT et $\sigma=1,7$ dT ; RFF_a : m=0,1dT et $\sigma=1,3$ dT).

A l'initiation vocalique, il existe un grand effet du voisement de la consonne, aussi bien sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(1,1.060)=476$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,31$) que sur la version adaptée (RFF_a) ($F(1,1.054)=368$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,26$) : elles sont plus hautes pour les consonnes non voisées, avec une moyenne (m) de 1,7 demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,6dT pour la RFF (RFF_a : m=1,1dT et $\sigma=1,2$ dT), que pour les voisées (RFF : m=[-0,2]dT et $\sigma=1,3$ dT ; RFF_a : m=[-0,2]dT et $\sigma=1,1$ dT).

A l'initiation des voyelles post-consonantiques, il existe aussi un effet significatif du mode articulatoire de la consonne sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF), bien que celui-ci soit négligeable ($F(1,1.060)=8$; $p=0,006$; $\eta^2=0,007$) : elle est plus haute pour les consonnes occlusives, avec une moyenne (m) de 0,9 demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,7dT, que pour les fricatives (m=0,6dT et $\sigma=1,8$ dT). Nous observons aussi une interaction entre le voisement et le mode articulatoire de la consonne pour la RFF, même si elle apparaît négligeable ($F(1,1.058)=10$;

$p=0,002$; $\eta^2=0,006$) : l'effet du voisement est plus important pour les consonnes fricatives, avec une différence moyenne de 2,2dT, que pour occlusives (1,7). Pourtant, nous ne constatons pas d'effet significatif du mode articulatoire de la consonne sur la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(1,1.054)=3$; $p=0,09$).

7.4.1.2. Autres types de voix

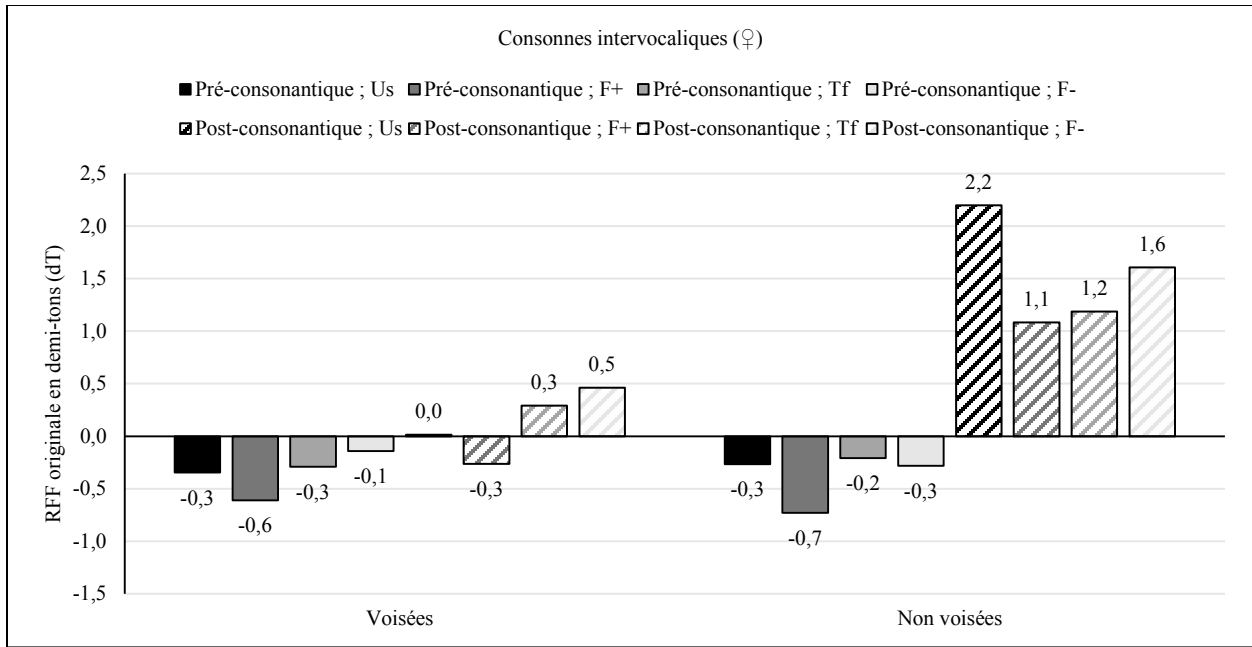
Dans cette expérience n°4, chez les hommes et chez les femmes, nous avons observé des productions vocales semblables : d'une part une voix forte-aigüe-pressée (F+) qui était souvent produite et, d'autre part, une voix faible-grave-soufflée (F-) qui était peu souvent produite. De plus, nous avons observé, plus typiquement chez les femmes, la production d'une voix faible-grave-pressée (Tf) et, plus typiquement chez les hommes, la production d'une voix faible-aigüe-soufflée (Tm). Nous présentons donc ici les résultats séparément pour les hommes et les femmes.

7.4.1.2.1. Femmes

Pour les six femmes, les valeurs pour les points extrêmes de fréquence fondamentale relative originale (RFF) et les valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) sont présentées, en fonction du voisement de la consonne et de la voix produite, sur la Figure 37 et la Figure 38, respectivement.

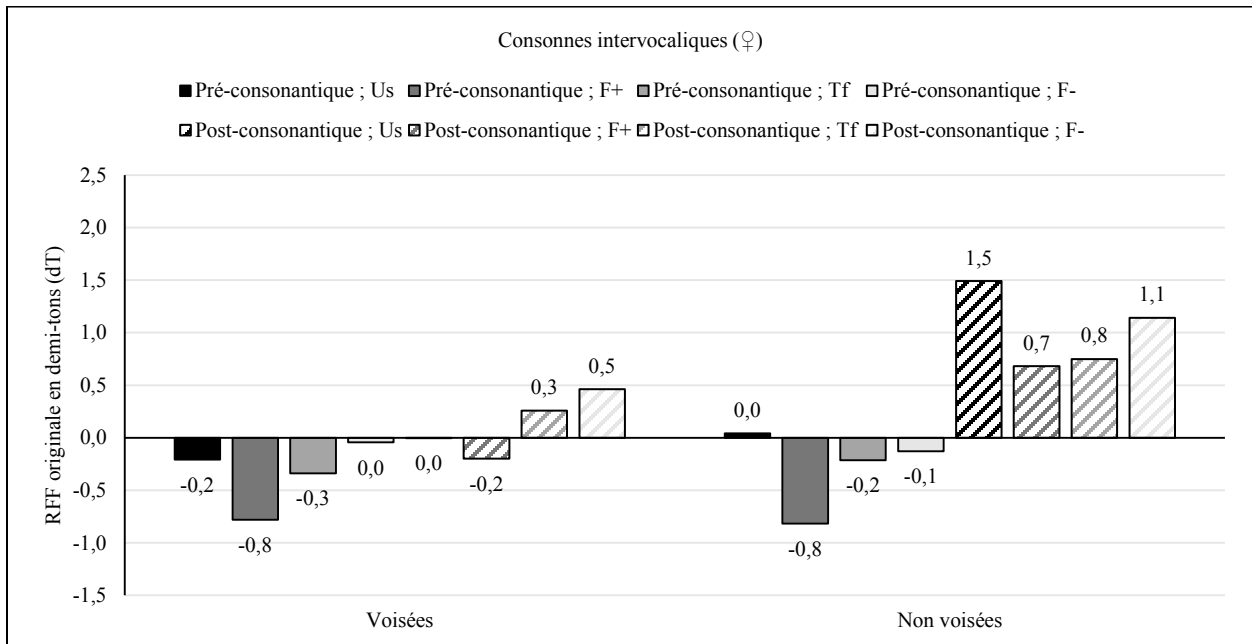
Au niveau de la terminaison vocalique, il existe un moyen effet du type de voix produite sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(3,2.126)=85$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,11$) et sur sa version adaptée (RFF_a) ($F(3,2.014)=84$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,11$) : notamment, elles sont plus basses pour la voix forte-aigüe-pressée (F+), avec une moyenne (m) de [-0,7] demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 0,6dT pour la RFF (RFF_a : $m=[-0,8]$ dT et $\sigma=1,2$ dT), que pour la voix usuelle (Us ; RFF : $m=[-0,3]$ et $\sigma=0,6$ dT ; RFF_a : $m=[-0,1]$ dT et $\sigma=0,7$ dT).

Il existe une interaction significative mais statistiquement négligeable du voisement de la consonne sur cet effet de la voix à la terminaison vocalique pour la mesure originale (RFF) ($F(3,2.122)=5$; $p=0,0012$; $\eta^2=0,007$) et seulement une tendance pour la mesure adaptée (RFF_a) ($F(3,2.010)=3$; $p=0,018$) : il semble que l'effet observé entre les voix Us et F+ soit plus important pour les consonnes non voisées.



Types de voix : usuelle (Us) ; forte-aigüe-pressée (F+) ; faible-grave-pressée observée chez les femmes (Tf) ; faible-grave-soufflée (F-).

Figure 37 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale en fonction du voisement des consonnes et du type de voix, chez les femmes



Types de voix : usuelle (Us) ; forte-aigüe-pressée (F+) ; faible-grave-pressée observée chez les femmes (Tf) ; faible-grave-soufflée (F-).

Figure 38 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes et du type de voix, chez les femmes

Par ailleurs, il existe aussi une interaction négligeable du mode articulatoire de la consonne sur cet effet de la voix pour la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(3,2.122)=5$; $p=0,003$; $\eta^2=0,006$) : il semble que l'effet observé entre les voix Us et F+ soit plus important pour les consonnes fricatives. Cependant, cette interaction n'apparaît pas significative pour la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(3,2.010)=2$; $p=0,09$).

Au niveau de l'initiation vocalique, il existe un petit effet du type de voix produite sur la fréquence fondamentale relative, aussi bien dans sa version originale (RFF) ($F(3,1.987)=30$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$) que dans sa version adaptée (RFF_a) ($F(3, 1.929)=31$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$) : par rapport à la voix usuelle (Us), pour laquelle la moyenne (m) de RFF est égale à 1,1 demi-tons (dT) et l'écart-type (σ) à 1,7dT (RFF_a : m=0,8dT et $\sigma=1,3dT$), nous n'observons pas de grande variation pour la voix faible-grave-soufflée (F- ; RFF : m=1,0dT et $\sigma=1,3dT$; RFF_a : m=0,8dT et $\sigma=1,0dT$), nous observons des valeurs légèrement plus basses pour la voix faible-grave-pressée typiquement étudiée chez les femmes (Tf ; RFF : m=0,7dT et $\sigma=1,4dT$; RFF_a : m=0,5dT et $\sigma=0,9dT$) et nous constatons des valeurs bien plus basses pour la voix forte-aigüe-pressée (F+ ; RFF : m=0,4dT et $\sigma=1,5dT$; RFF_a : m=0,2dT et $\sigma=1,2dT$).

Il existe une petite interaction du voisement de la consonne sur cet effet de la voix à l'initiation vocalique pour la mesure originale (RFF) ($F(3,1.983)=20$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) comme pour la mesure adaptée (RFF_a) ($F(3, 1.925)=18$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : l'effet observé entre les voix Us et F+ est plus important pour les consonnes non voisées, avec une différence moyenne de 1,1 demi-tons (dT) pour la RFF et de 0,8dT pour la RFF_a, et moins important, voire inversé, pour les voisées (RFF : [-0,3]dT ; RFF_a : 0,2dT). De même, l'effet observé entre les voix Us et Tf est plus important pour les consonnes non voisées, avec une différence moyenne de 1,0dT pour la RFF et de 0,7dT pour la RFF_a, et il est inversé pour les voisées (RFF : [-0,3]dT ; RFF_a : [-0,3]dT). Enfin, il n'existe pas d'interaction significative du mode articulatoire de la consonne sur l'effet de la voix, que ce soit pour la RFF ($F(3,1.983)=1$; $p=0,45$) ou pour la RFF_a ($F(3,1.925)=2$; $p=0,16$).

7.4.1.2.2. Hommes

Pour les six hommes, les valeurs pour les points extrêmes de fréquence fondamentale relative originale (RFF) et les valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) sont présentées,

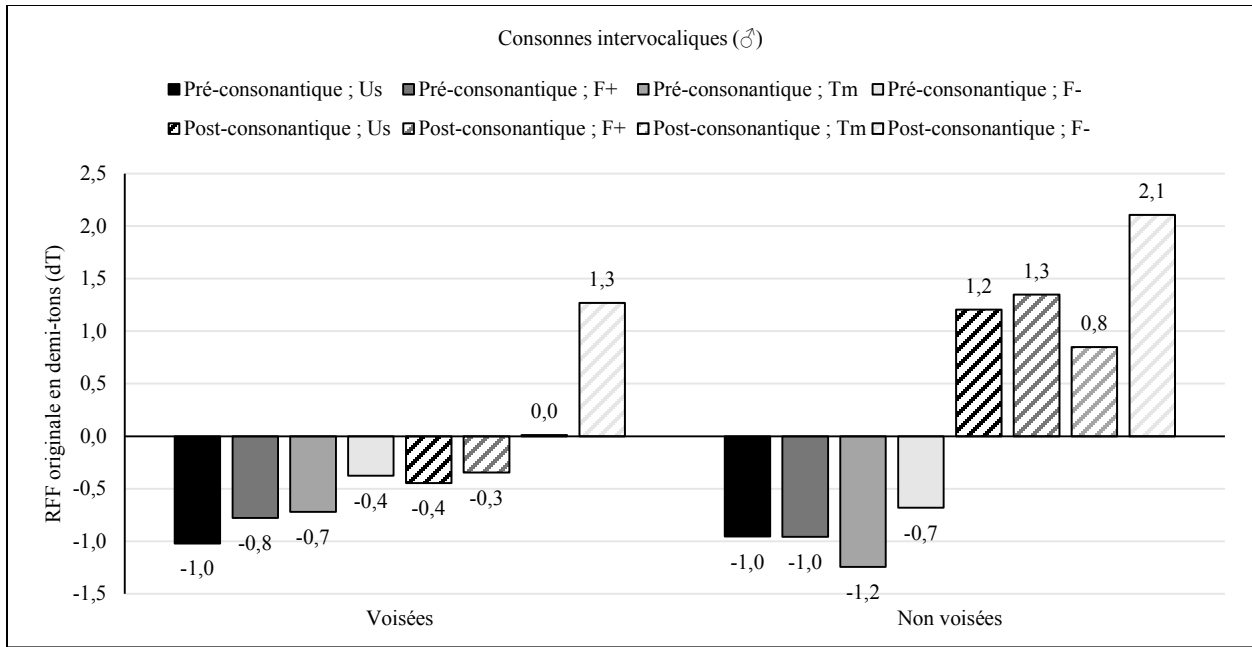
en fonction du voisement de la consonne et de la voix produite, sur la Figure 39 et la Figure 40, respectivement.

A la terminaison des voyelles, il existe un petit effet de la voix produite sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(3,1.893)=12$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) et sur la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(3,1.867)=8$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,013$) : notamment, elles sont plus hautes pour la voix faible-grave soufflée (F-), avec une moyenne (m) de [-0,5] demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 0,7dT pour la RFF (RFF_a : m=[-0,5]dT et $\sigma=0,6$ dT) que pour la voix usuelle (Us ; RFF : m=[-1,0]dT et $\sigma=1,1$ dT ; RFF_a : m=[-0,7]dT et $\sigma=1,3$ dT).

De plus, il existe une petite interaction du voisement de la consonne sur l'effet de la voix à la terminaison vocalique pour la mesure originale (RFF) ($F(3,1.889)=8$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,012$) mais seulement une tendance pour la mesure adaptée (RFF_a) ($F(3,1.863)=3$; $p=0,019$) : l'effet observé entre les voix Us et F- est plus important pour les consonnes voisées, avec une différence moyenne de 0,6dT pour la RFF et de 0,4dT pour la RFF_a, que pour les non voisées (RFF : 0,3dT ; RFF_a : 0,1dT).

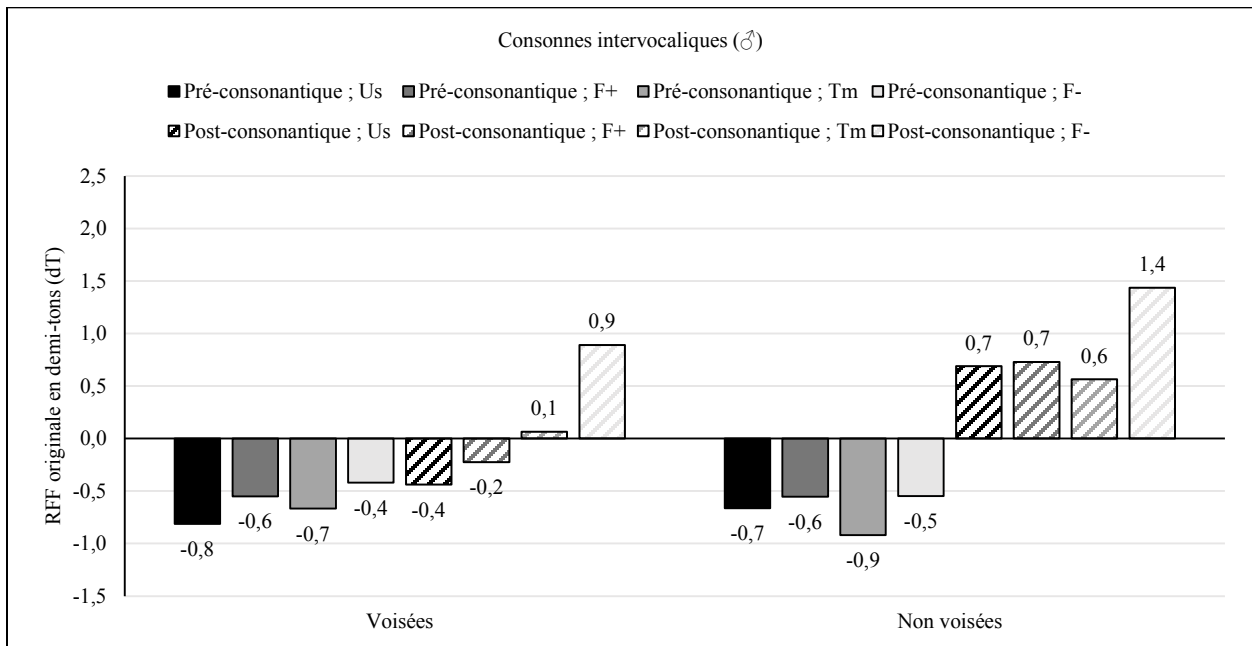
Il existe aussi une petite interaction du mode articulatoire de la consonne sur l'effet de la voix, à la terminaison des voyelles pré-consonantiques, pour la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(3,1.889)=8$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,012$), mais une interaction négligeable pour la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(3,1.863)=5$; $p=0,002$; $\eta^2=0,008$) : l'effet observé entre les voix Us et F- est plus grand pour les consonnes occlusives, avec une différence moyenne de 0,6dT pour la RFF et de 0,3dT pour la RFF_a, que pour les fricatives (RFF : 0,3dT ; RFF_a : 0,2dT).

A l'initiation des voyelles, il existe un petit effet du type de voix produite sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(3,1.815)=38$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,058$) et un moyen effet sur la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(3, 1.801)=40$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,063$) : notamment, les valeurs sont plus basses pour la voix usuelle (Us), avec une moyenne (m) de 0,3 demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,7dT pour la RFF (RFF_a : m=0,1 et $\sigma=1,3$), que pour la voix faible-grave-soufflée (F- ; RFF : m=1,7dT et $\sigma=1,2$ dT ; RFF_a : m=1,2dT et $\sigma=0,8$ dT).



Types de voix : usuelle (Us) ; forte-aigüe-pressée (F+) ; faible-aigüe-soufflée observée chez les hommes (Tm) ; faible-grave-soufflée (F-).

Figure 39 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale en fonction du voisement des consonnes et du type de voix, chez les hommes



Types de voix : usuelle (Us) ; forte-aigüe-pressée (F+) ; faible-aigüe-soufflée observée chez les hommes (Tm) ; faible-grave-soufflée (F-).

Figure 40 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes et du type de voix, chez les hommes

Il existe une petite interaction du voisement de la consonne sur cet effet du type de voix, à l'initiation de la voyelle post-consonantique, aussi bien pour la mesure originale (RFF) ($F(3,1.811)=12$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) que pour la mesure adaptée (RFF_a) ($F(3, 1.797)=8$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,011$) : l'effet observé entre les voix Us et F- est plus important pour les consonnes voisées, avec une différence moyenne de 1,7dT pour la RFF et de 1,3dT pour la RFF_a, que pour les non voisées (RFF : 0,9dT ; RFF_a : 0,7dT). De plus, nous observons des valeurs plus basses pour la voix faible-aigüe-soufflée typiquement produite par les hommes (Tm) par rapport à la voix Us, dans le cas des consonnes non voisées. Enfin, il n'existe pas d'interaction significative du mode articulaire de la consonne sur l'effet de la voix, pour la RFF ($F(3,1.811)=3$; $p=0,03$) comme pour la RFF_a ($F(3,1.797)=1$; $p=0,21$).

7.4.2. Expérience n°5

Dans l'expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques, nous avons étudié les six consonnes voisées /v, z, ʒ, b, d, g/ et six consonnes non voisées correspondantes /f, s, ʃ, p, t, k/ en position postvocalique, dans des structures syllabiques voyelle-consonne (VC#) ou dissyllabiques voyelle-consonne-voyelle (VCV), et en position pré-vocalique, dans des structures syllabiques consonne-voyelle (#CV) ou dissyllabiques (VCV). Il nous est donc possible de comparer les effets du voisement, du mode et de lieu articulaire des consonnes, ainsi que l'effet de la structure de l'item, sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ou adaptée (RFF_a).

7.4.2.1. Parole et voix usuelles

Nous présentons ici les résultats des productions de voix usuelle chez les 24 participants. Les valeurs de fréquence fondamentale relative originale (RFF), pour le cycle vibratoire le plus proche de la consonne, en fonction des consonnes et des structures d'items, sont illustrées par la Figure 41. Les valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) pour la moyenne des trois cycles vibratoires les plus proches de la consonne, sont illustrées de la même façon sur la Figure 42.

Dans des comparaisons appariées, il existe un petit effet de la méthode de mesure à la terminaison vocalique ($F(2,1.229)=279$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$) : la mesure originale (RFF) est plus basse, avec une moyenne (m) de [-1,1] demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,3dT, que la mesure

adaptée (RFF_a) ($m=[-0,5]dT$ et $\sigma=1,2dT$). Cependant, les valeurs obtenues sont corrélées à 58% ($z=23$; $p<0,0001$). Il existe aussi un moyen effet de la méthode de mesure à l'initiation vocalique ($F(2,1.356)=582$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,08$) : la RFF est plus haute ($m=2,1dT$ et $\sigma=1,7dT$) que la RFF_a ($m=1,2dT$ et $\sigma=1,3dT$). Les valeurs sont ici corrélées à 61% ($z=26$; $p<0,0001$).

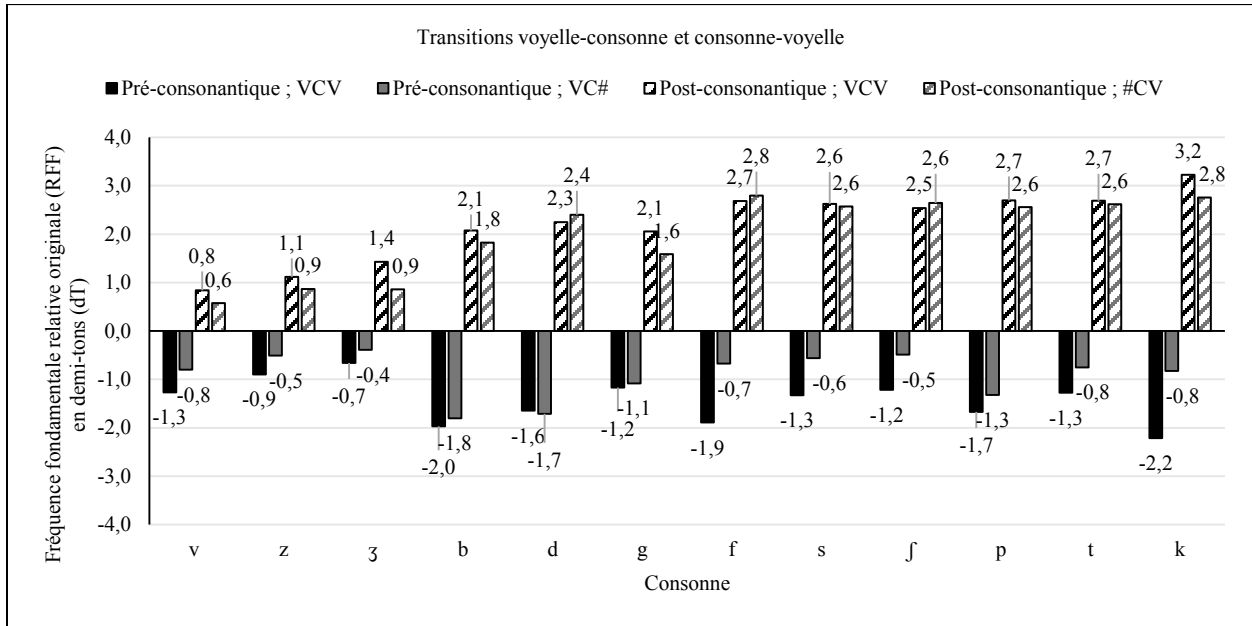


Figure 41 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale des consonnes en fonction de la structure syllabique, dans la voix usuelle

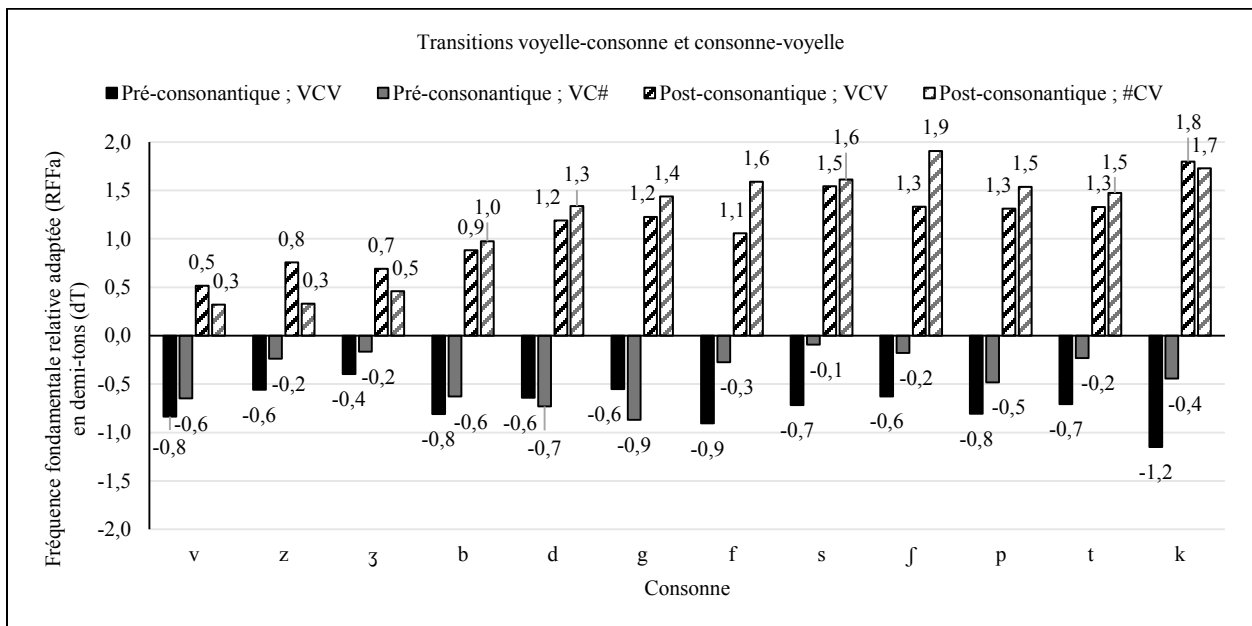


Figure 42 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée des consonnes en fonction de la structure syllabique, dans la voix usuelle

Dans l'expérience n°5, à la terminaison des voyelles pré-consonantiques, nous n'observons pas d'effet significatif du voisement de la consonne sur la fréquence fondamentale relative, que ce soit dans sa version originale (RFF) ($F(1,1.346)=0$; $p=0,85$) ou dans sa version adaptée (RFF_a) ($F(1,1.232)=1$; $p=0,43$) : elle est aussi basse pour les consonnes voisées que pour les consonnes non voisées. En revanche, nous notons qu'il existe un petit effet de la structure de l'item sur la RFF ($F(1,1.346)=52$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$), ainsi que sur la RFF_a ($F(1,1.232)=18$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,014$) : elles sont plus basses dans la structure VCV, avec une moyenne (m) de [-1,4] demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,2dT pour la RFF (RFF_a : $m=[-0,7]$ dT et $\sigma=1,0$ dT), que dans la structure VC# (RFF : $m=[-0,9]$ dT et $\sigma=1,3$ dT ; RFF_a : $m=[-0,4]$ dT et $\sigma=1,3$ dT).

Pour la mesure originale (RFF), nous observons une petite interaction entre le voisement de la consonne et la structure de l'item à la terminaison vocalique ($F(1,1.344)=20$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,014$) : la RFF est plus basse pour les consonnes voisées que pour les non voisées dans la structure VC#, avec une différence moyenne de 0,3dT, et inversement dans la structure VCV, avec une différence moyenne de 0,4dT. Cette interaction existe aussi pour la mesure adaptée (RFF_a), mais elle apparaît négligeable ($F(1,1.230)=1$; $p=0,001$; $\eta^2=0,008$).

Par ailleurs, à la terminaison des voyelles pré-consonantiques, il existe un petit effet du mode articuloire de la consonne sur la fréquence fondamentale relative dans sa version originale (RFF) ($F(1,1.346)=73$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$), qui apparaît négligeable pour la version adaptée (RFF_a) ($F(1,1.232)=10$; $p=0,002$; $\eta^2=0,008$) : la RFF est plus basse pour les consonnes occlusives ($m=[-1,4]$ dT) et $\sigma=1,3$ dT) que pour les fricatives ($m=[-0,8]$ dT et $\sigma=1,2$ dT).

A la terminaison vocalique, pour la mesure originale (RFF) toujours, nous observons une interaction négligeable entre le voisement et le mode articuloire de la consonne ($F(1,1.344)=11$; $p=0,001$; $\eta^2=0,008$), mais non pour la mesure adaptée (RFF_a) ($F(1,1.230)=1$; $p=0,24$).

Par ailleurs, à la terminaison vocalique, il existe un petit effet du lieu articuloire de la consonne sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(2,1.345)=12$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : elle est plus basse pour les consonnes antérieures (fricatives labiodentales et occlusives bilabiales) que pour les consonnes médianes (fricatives et occlusives apico-alvéolaires) ou postérieures (fricatives apico-post-alvéolaires et occlusives dorso-vélaires). Cet effet n'existe pas pour la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(2,1.231)=3$; $p=0,07$).

Enfin, nous notons un petit effet du sexe du participant sur la mesure originale (RFF) ($F(1,1.346)=57$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$) et sur la mesure adaptée (RFF_a) ($F(1,1.232)=46$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$) : elles sont plus basses chez les hommes, avec une moyenne (m) de [-1,5] demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,6dT pour la RFF (RFF_a : $m=[-0,8]$ dT et $\sigma=1,1$ dT), que chez les femmes (RFF : $m=[-0,9]$ dT et $\sigma=1,1$ dT ; RFF_a : $m=[-0,4]$ dT et $\sigma=1,2$ dT). De plus, chez les femmes, nous constatons un petit effet du groupe sur la RFF_a ($F(1,753)=14$; $p=0,0002$; $\eta^2=0,02$) : elle est plus basse pour les femmes ayant participé à l'expérience n°4 ($m=[-5]$ dT et $\sigma=1,0$ dT) que pour les nouvelles participantes ($m=[-0,2]$ dT et $\sigma=1,4$ dT).

Dans cette expérience n°5, à l'initiation des voyelles post-consonantiques, il existe bien un moyen effet du voisement de la consonne sur la fréquence fondamentale relative, que ce soit dans sa version originale (RFF) ($F(1,1.416)=198$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,12$) ou dans sa version adaptée (RFF_a) ($F(1,1.361)=96$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,07$) : elles sont toutes les deux plus hautes pour les consonnes non voisées, avec une moyenne (m) de 2,7 demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,8dT pour la RFF (RFF_a : $m=1,5$ dT et $\sigma=1,4$ dT), que pour les voisées (RFF : $m=1,5$ dT et $\sigma=1,5$ dT ; RFF_a : $m=0,8$ dT et $\sigma=1,2$ dT).

Ici, nous n'observons pas d'effet de la structure de l'item sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(1,1.416)=3$; $p=0,07$) ou sur la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(1,1.361)=2$; $p=0,18$). Par contre, nous observons un petit effet du mode articulaire de la consonne sur la RFF ($F(1,1.416)=48$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,03$) comme sur la RFF_a ($F(1,1.361)=26$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : elles sont plus hautes pour les consonnes occlusives (RFF : $m=2,4$ dT et $\sigma=1,7$ dT ; RFF_a : $m=1,3$ dT et $\sigma=1,3$ dT) que pour les fricatives (RFF : $m=1,8$ dT et $\sigma=1,8$ dT ; RFF_a : $m=1,3$ dT et $\sigma=1,0$ dT).

De plus, il existe une petite interaction entre le voisement et le mode articulaire de la consonne pour la mesure originale (RFF) ($F(1,1.414)=34$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) et pour la mesure adaptée (RFF_a) ($F(1,1.359)=23$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : l'effet du voisement est plus important pour les consonnes fricatives, avec une différence moyenne de 1,7dT pour la RFF et de 1,0dT pour la RFF_a, que pour les occlusives (RFF : 0,7dT ; RFF_a : 0,4dT). Le lieu articulaire, lui, n'a pas d'effet significatif sur la RFF ($F(2,1.415)=1$; $p=0,32$) et seulement un effet négligeable sur la RFF_a ($F(2,1.360)=7$; $p=0,002$; $\eta^2=0,009$) : il semble que la RFF_a soit plus haute pour les consonnes postérieures, voire médianes, que pour les antérieures.

Enfin, à l'initiation vocalique, il n'existe pas d'effet significatif du sexe du participant sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(1,1.416)=2$; $p=0,13$) ou sur la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(1,1.361)=4$; $p=0,04$). Pourtant, nous constatons une interaction, bien que négligeable, de ce paramètre sur l'effet du voisement pour la RFF_a ($F(1,1.359)=14$; $p=0,0002$; $\eta^2=0,009$) : l'effet du voisement semble plus important chez les femmes, avec une différence moyenne de 0,9dT, que chez les hommes (0,4dT). Nous notons aussi un effet significatif mais négligeable de la participation à l'expérience n°4 sur la RFF ($F(1,1.416)=11$; $p=0,0011$; $\eta^2=0,007$) : elle semble plus haute pour les nouveaux participants ($m=2,2dT$ et $\sigma=1,8dT$) que pour les autres, dont neuf sur 12 avaient préalablement participé à l'expérience n°4 de production le matin-même ($m=1,9dT$ et $\sigma=1,6dT$). Cet effet n'existe pas pour la RFF_a ($F(1,1.361)=1$; $p=0,44$).

7.4.2.2. Autres types de voix

7.4.2.2.1. Femmes

Pour les 12 participantes, les valeurs de fréquence fondamentale relative, en fonction du voisement de la consonne notamment, mais aussi en fonction de la structure de l'item (VCV ou VC# et #CV), sont présentées sur la Figure 43, pour la version originale proposée par Stepp (RFF), et sur la Figure 44, pour notre version adaptée (RFF_a).

Chez ces femmes, à la terminaison des voyelles pré-consonantiques, le type de voix n'a pas d'effet sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(1,1.357)=0$; $p=0,92$). En revanche, il existe un petit effet de la voix produite sur la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(1,1.198)=25$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : elle est plus basse pour la voix usuelle (Us), avec une moyenne (m) de [-0,4] demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,2dT, que pour la voix aigüe-pressée (f+ : $m=0,0dT$ et $\sigma=1,3dT$).

De plus, nous observons une interaction, bien que négligeable, entre la production vocale et la structure de l'item pour la mesure originale (RFF) ($F(1,1.355)=9$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,006$) : elle semble plus basse pour la voix usuelle (Us) que pour la voix aigüe-pressée (f+) à la terminaison de la première voyelle dans la structure VCV et inversement à la fin de la voyelle dans la structure VC#. Cependant cette interaction n'apparaît pas pour la RFF_a ($F(1,1.196)=1$; $p=0,31$).

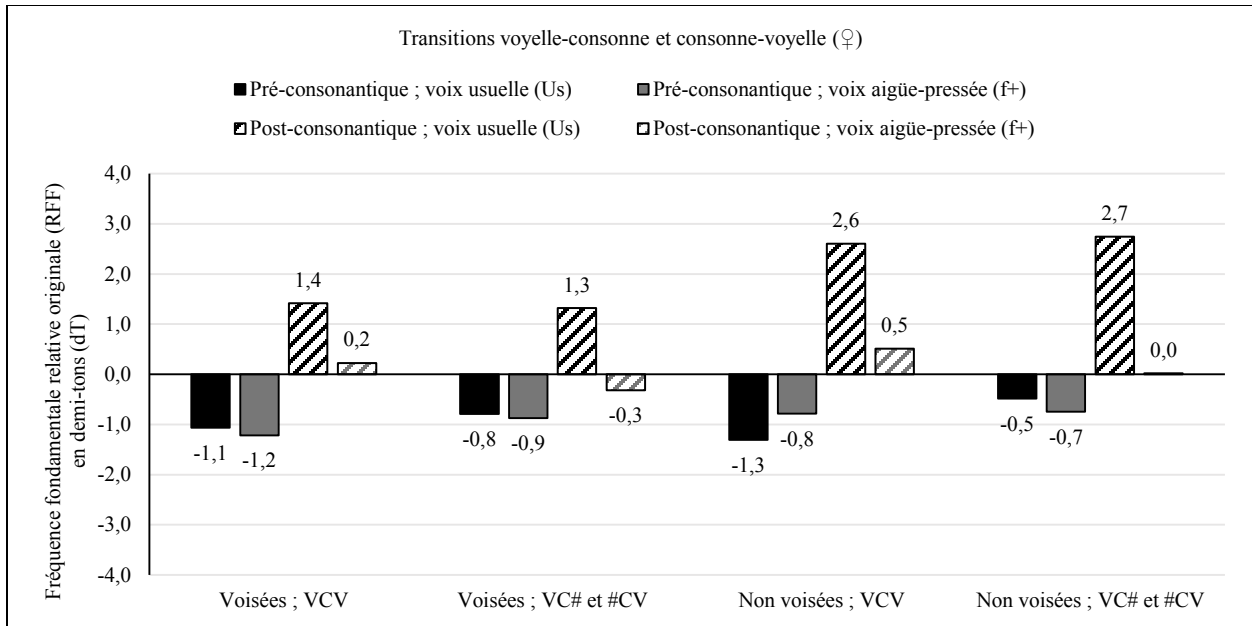


Figure 43 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale en fonction du voisement des consonnes, de la structure syllabique et du type de voix, chez les femmes

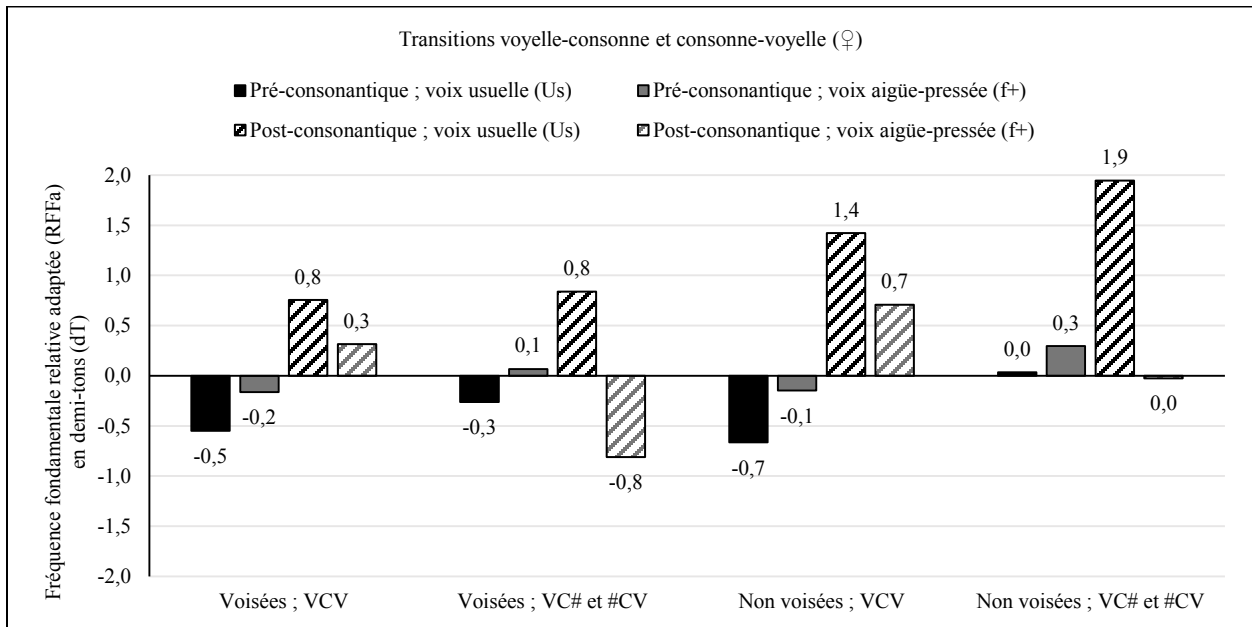


Figure 44 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, de la structure syllabique et du type de voix, chez les femmes

Par ailleurs, à la terminaison vocalique, il n'existe pas d'interaction du voisement de la consonne sur l'effet du type de voix, aussi bien pour la fréquence fondamentale relative originale

(RFF) ($F(1,1.355)=4$; $p=0,04$) que pour la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(1,1.196)=0$; $p=0,77$) : l'effet de la voix produite est le même pour les consonnes voisées, que nous souhaitions observer, que pour les consonnes non voisées.

A l'initiation des voyelles post-consonantiques, il existe de grands effets du type de voix sur la fréquence fondamentale relative, dans sa version originale (RFF) ($F(1,1.345)=481$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,26$) comme dans sa version adaptée (RFF_a) ($F(1,1.277)=208$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,14$) : elles sont plus hautes pour la voix usuelle (Us), avec une moyenne (m) de 2,0 demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,7dT pour la RFF (RFF_a : m=1,2dT et $\sigma=1,4dT$), que pour la voix aigüe-pressée (f+ ; RFF : m=0,1dT et $\sigma=1,2dT$; RFF_a : m=0,0dT et $\sigma=1,4dT$).

Ici, il existe une petite interaction du voisement de la consonne sur cet effet de la voix pour la mesure originale (RFF) ($F(1,1.343)=39$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$), mais non pour la mesure adaptée (RFF_a) ($F(1,1.275)=5$; $p=0,03$) : pour la RFF, l'effet de la voix est plus important pour les consonnes non voisées, avec une différence moyenne de 2,4dT, que pour les consonnes voisées (1,4dT).

Nous observons également une interaction négligeable de la structure de l'item sur l'effet du type de voix pour la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(1,1.343)=10$; $p=0,002$; $\eta^2=0,005$), mais une petite interaction pour la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(1,1.275)=58$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$) : pour la RFF_a, l'effet de la voix est plus important au début de la voyelle dans la structure #CV, avec une différence moyenne de 1,8dT entre les voix usuelle (Us) et aigüe-pressée (f+), qu'à l'initiation de la seconde voyelle dans la structure VCV (0,6dT).

Par ailleurs, à l'initiation des voyelles post-consonantiques chez les femmes, il existe une interaction négligeable du mode articulatoire de la consonne sur la mesure originale (RFF) ($F(1,1.343)=11$; $p=0,0011$; $\eta^2=0,006$), avec un effet de la production vocale semblant plus important pour les consonnes occlusives que pour les fricatives, mais cette interaction n'apparaît pas pour la mesure adaptée (RFF_a) ($F(1,1.275)=3$; $p=0,09$). Au contraire, nous n'observons pas d'interaction du lieu articulatoire pour la RFF ($F(2,1.341)=4$; $p=0,03$) et une interaction négligeable pour la RFF_a ($F(2,1.273)=6$; $p=0,004$; $\eta^2=0,007$), avec un effet de la voix semblant plus important pour les consonnes postérieures que pour les médianes ou les antérieures.

7.4.2.2.2. Hommes

Ici, en ce qui concerne les 12 hommes, les valeurs de fréquence fondamentale relative, en fonction du voisement de la consonne et de la structure de l'item, VCV d'une part et VC# ou #CV d'autre part, sont indiquées sur la Figure 45, pour la version originale (RFF), et sur la Figure 46, pour notre version adaptée (RFF_a).

Chez ces hommes, il existe un petit effet du type de voix sur la fréquence fondamentale relative, originale (RFF) ($F(2,945)=21$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$) ou adaptée (RFF_a) ($F(2,890)=35$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,07$), mesurée à la terminaison des voyelles pré-consonantiques : elle est plus basse pour la voix aigüe-pressée (f+), avec une moyenne (m) de [-1,7] demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,4dT pour la RFF (RFF_a : m=[-0,9dT et $\sigma=1,2$ dT), et pour la voix usuelle (Us ; RFF : m=[-1,5]dT et $\sigma=1,6$ dT ; RFF_a : m=[-0,8]dT et $\sigma=1,1$ dT) que pour la voix aigüe-soufflée (tm ; RFF : m=[-0,8]dT et $\sigma=1,6$ dT ; RFF_a : m=[-0,0]dT et $\sigma=1,3$ dT).

A la terminaison vocalique, il existe une petite interaction du voisement de la consonne sur cet effet, pour la mesure originale (RFF) ($F(2,942)=7$; $p=0,0011$; $\eta^2=0,014$) comme pour la mesure adaptée (RFF_a) ($F(2,887)=11$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : l'effet observé entre les voix usuelle (Us) et aigüe-soufflée (tm) est plus important pour les consonnes non voisées, avec une différence moyenne de 1,2 demi-tons (dT) pour la RFF et 1,1dT pour la RFF_a, que pour les consonnes voisées (RFF : 0,4dT ; RFF_a : 0,5dT).

Par ailleurs, nous observons aussi une petite interaction de la structure de l'item sur l'effet du type de voix produite, pour la fréquence fondamentale relative dans sa version originale (RFF) ($F(2,942)=20$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,04$) et dans sa version adaptée (RFF_a) ($F(2,887)=11$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : d'une part, l'effet observé à la terminaison des voyelles pré-consonantiques entre les voix usuelle (Us) et aigüe-soufflée (tm) est plus important dans la structure VCV, avec une différence moyenne de 1,6 demi-tons (dT) pour la RFF et de 1,1dT pour la RFF_a, que dans la structure VC# (RFF : 0,1dT ; RFF_a : 0,6dT) et, d'autre part, la RFF et la RFF_a sont plus hautes pour la voix aigüe-pressée (f+) que pour la voix Us à la terminaison de la première voyelle dans la structure VCV et inversement à la fin de la voyelle dans la structure VC#.

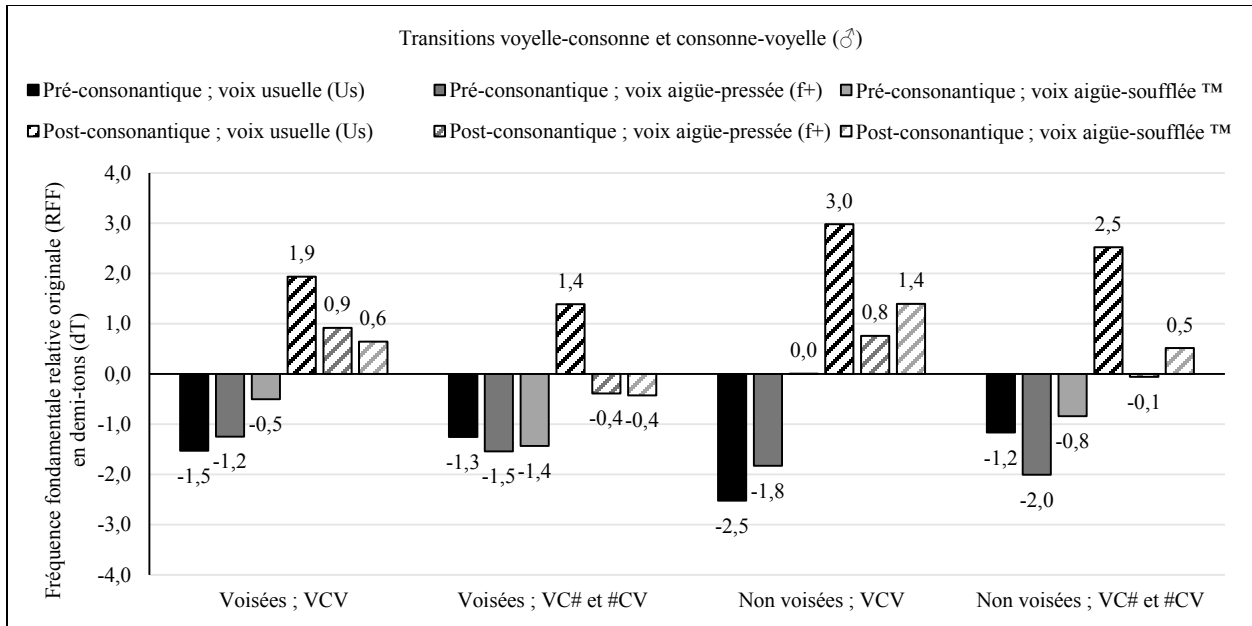


Figure 45 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale en fonction du voisement des consonnes, de la structure syllabique et du type de voix, chez les hommes

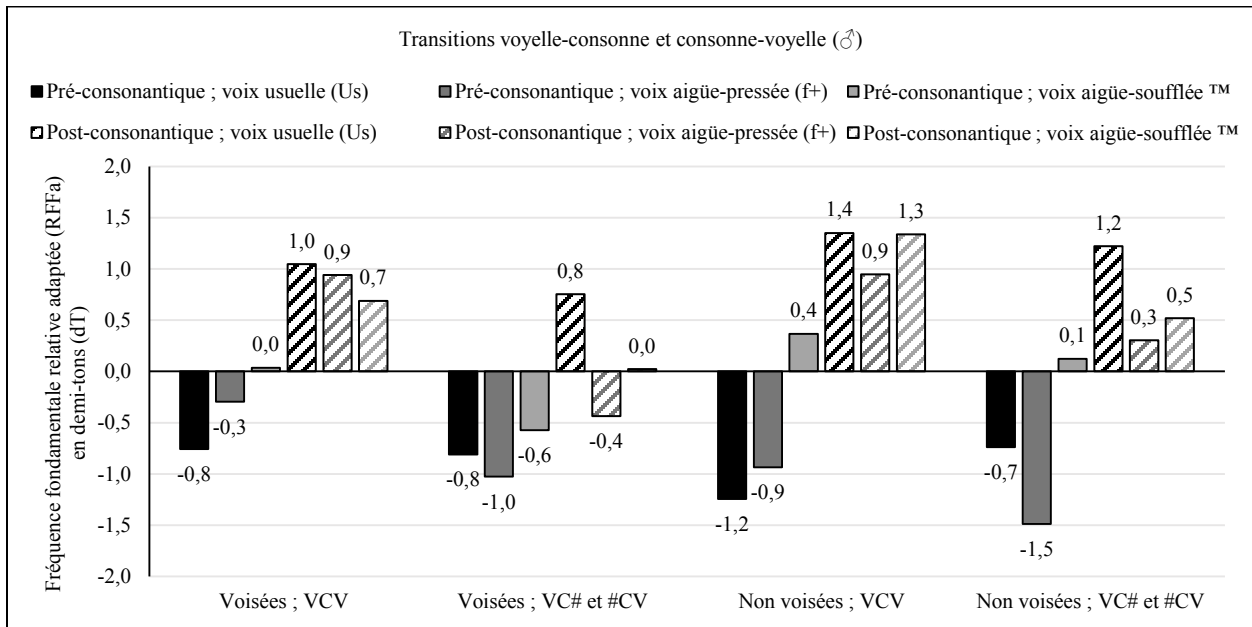


Figure 46 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, de la structure syllabique et du type de voix, chez les hommes

A l'initiation vocalique, il existe un grand effet du type de voix produite sur la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(2, 1.054)=134 ; p<0,0001 ; \eta^2=0,20$), mais seulement un

petit effet sur la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(2,1.031)=25$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,05$) : elles sont plus hautes pour la voix usuelle (Us), avec une moyenne (m) de 2,2 demi-tons (dT) et un écart-type (σ) de 1,8dT pour la RFF (RFF_a : m=1,1dT et $\sigma=1,2dT$), que pour la voix aigüe-pressée (f+ ; RFF : m=0,3dT et $\sigma=1,8dT$; RFF_a : m=0,5dT et $\sigma=1,4dT$) ou pour la voix aigüe-soufflée (tm ; RFF : m=0,5dT et $\sigma=1,6dT$; RFF_a : m=0,6dT et $\sigma=1,2dT$).

Il existe aussi une petite interaction du voisement de la consonne sur cet effet pour la mesure originale (RFF) ($F(2,1.051)=8$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,011$), qui n'apparaît pas pour la mesure adaptée (RFF_a) ($F(2,1.028)=1$; $p=0,59$) : pour la RFF, l'effet observé entre les voix usuelle (Us) et aigüe-pressée (f+) est plus important pour les consonnes non voisées, avec une différence moyenne de 2,4 demi-tons (dT), que pour les voisées (1,4dT).

De plus, même si nous n'observons pas d'interaction de la structure de l'item sur l'effet de la voix pour la fréquence fondamentale relative originale (RFF) ($F(2,1.051)=3$; $p=0,03$), il existe une petite interaction pour la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) ($F(2,1.028)=11$; $p<0,0001$; $\eta^2=0,02$) : l'effet observé entre les voix usuelle (Us) et aigüe-pressée (f+) est plus grand à l'initiation de la voyelle dans la structure #CV, avec une différence moyenne de 1,0 demi-ton (dT), qu'au début de la seconde voyelle dans la structure VCV (0,2dT) et, de même, l'effet observé entre les voix Us et aigüe-soufflée (tm) est plus grand dans la structure #CV (0,7dT) que dans la structure VCV (0,2dT).

7.4.3. Résumé

Dans ces expériences n°4 et n°5 de production, nous avons testé la mesure acoustique de l'effort phonatoire proposée par Stepp (RFF) et notre version adaptée de cette mesure (RFF_a). De manière générale, les valeurs sont plus basses pour les hommes que pour les femmes, sauf pour la fréquence fondamentale relative à l'initiation des voyelles post-consonantiques dans l'expérience n°5. Dans les deux expériences, il n'existe pratiquement pas de différence entre les consonnes voisées et non voisées à la terminaison des voyelles pré-consonantiques alors que les valeurs sont plus basses pour les consonnes voisées que pour les non voisées à l'initiation des voyelles post-consonantiques, surtout pour les consonnes fricatives dans l'expérience n°5. Dans cette même expérience, à la terminaison vocalique, les valeurs sont aussi plus hautes dans la structure VC# et, à l'initiation vocalique, les valeurs sont plus basses pour les consonnes antérieures.

La voix produite a un effet sur la fréquence fondamentale relative, quel que soit le voisement de la consonne. A la terminaison des voyelles pré-consonantiques, les effets sont contraires entre les deux expériences. Dans l'expérience n°4, avec des trains de syllabes et seulement les consonnes /v, f, b, p/, mais avec un contrôle de l'intensité vocale, les valeurs sont plus basses pour la voix forte-aigüe-pressée (F+) que pour la voix usuelle (Us), chez les six femmes, et plus basses pour la voix Us que pour la voix faible-grave-soufflée (F-), chez les six hommes. Dans l'expérience n°5, avec les items utilisés dans les expériences de perception et dans l'expérience clinique suivante, les valeurs sont, au contraire, plus hautes pour la voix aigüe-pressée (f+), chez les 12 femmes. A l'initiation des voyelles post-consonantiques, en revanche, les effets sont semblables entre les deux expériences. En effet, dans l'expérience n°4, les valeurs sont plus basses pour la voix F+ que pour la voix Us, chez les femmes, et plus basses pour la voix Us que pour la voix F-, chez les hommes, tandis que, dans l'expérience n°5, elles sont plus basses pour la voix f+ que pour la voix Us, chez les femmes comme chez les hommes, surtout dans la structure #CV.

Nous rappelons cependant que, dans l'expérience n°4, pour les hommes comme pour les femmes, six productions de voix usuelle (Us) et neuf productions de voix forte-aigüe-pressée (F+) ont été étudiées, tandis que cinq productions de voix faible-grave-soufflée (F-) ont été étudiées chez les femmes et seulement deux chez les hommes. De plus, dans l'expérience n°5, 12 productions de voix Us ont été étudiées chez les hommes comme chez les femmes, tandis que sept productions de voix aigüe-pressée (f+) ont été étudiées chez les femmes et seulement quatre chez les hommes.

8. Résultats cliniques :

Expérience n°6

Nous présentons ici l'application des deux mesures développées dans cette étude, perceptive avec le taux de perception de la difficulté de production des consonnes voisées dans des paires les opposant aux non voisées et acoustique avec la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a), dans des cas cliniques. Nous avons choisi de présenter, en plus, les cas des trois femmes et les trois hommes témoins chez qui nous avons obtenu les mêmes mesures dans les expériences n°1 et n°5, ainsi que certains cas atypiques observés dans l'expérience n°5 de production. Nous présentons aussi d'autres mesures acoustiques chez les 15 patients, notamment la fréquence fondamentale (F0) et l'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), ou le taux de voisement (V%) des consonnes, dans le Tableau 152. Nous présentons les six participants témoins puis les 15 patients, pour les hommes d'une part et pour les femmes d'autre part, de celui présentant le plus faible taux perceptif de la difficulté, à celui présentant le plus fort. Pour les patients, nous apportons aussi des indications concernant la plainte, l'histoire du trouble de la voix, les symptômes, ou encore les traits de personnalité des individus, qui peuvent éclairer la lecture des résultats.

Patients		Voyelles			Consonnes voisées				Consonnes non voisées				
		Données/mesures	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	Durées (s)			V%	Durées (s)			V%	
					V ₁	C	V ₂		V ₁	C	V ₂		
Sexe	Femmes	c	0,90 (0,05 ; 0,85)	47 ; 56	-19 ; 8	0,173	0,118	0,227	0,71	0,148	0,189	0,211	0,04
		d	0,87 (0,18 ; 0,69)	41 ; 52	-16 ; 5	0,153	0,112	0,215	0,58	0,108	0,196	0,195	0,13
		e	0,93	53	4	0,139	0,122	0,200	0,63	0,106	0,218	0,169	0,08
		f	0,95	53	1	0,187	0,209	0,171	0,27	0,138	0,282	0,153	0,02
		g	0,96	57	4	0,157	0,098	0,270	0,92	0,110	0,182	0,245	0,17
		h	0,90	53	0	0,160	0,099	0,235	0,77	0,104	0,171	0,204	0,08
		i	0,66 (0,16 ; 0,50)	43 ; 55	-15 ; 11	0,183	0,111	0,286	0,08	0,166	0,205	0,245	0,04
	Hommes	j	0,85	52	13	0,189	0,119	0,232	0,54	0,173	0,174	0,211	0,04
		k	0,95	59	13	0,179	0,110	0,210	0,63	0,147	0,179	0,189	0,08
		l	0,92	59	14	0,210	0,151	0,260	0,33	0,192	0,244	0,235	0,11
		m	0,89	58	1	0,174	0,091	0,226	0,70	0,143	0,135	0,204	0,00
		n	0,96	58	4	0,146	0,080	0,179	0,86	0,118	0,143	0,164	0,04
		v	0,38 (0,16 ; 0,22)	41 ; 52	-16 ; 10	0,200	0,084	0,267	0,74	0,166	0,150	0,248	0,00
		x	0,43	44	-1	0,158	0,122	0,135	0,82	0,107	0,191	0,104	0,03

Données acoustiques : fréquence fondamentale (F0 en demi-tons (dT) ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en décibels (dB) ; durées segmentales en secondes (s) pour les voyelles pré-consonantiques (V₁), les consonnes intervocaliques (C) et les voyelles post-consonantiques (V₂) ; taux de voisement (V%) ; remarquable en gris (clair ou foncé).

Tableau 152 : expérience n°6 clinique ; paramètres acoustiques de la voix usuelle des patients

8.1. Femmes

Nous présentons d'abord les cas des trois participantes et des 12 patientes. Les premières ($\text{♀}_1, \text{♀}_2, \text{♀}_3$) ont perçu une difficulté de production des consonnes voisées, en comparaison avec les non voisées, dans environ 60 à 80 pourcents (%) des 36 paires. Parmi les patientes, la première (g) a perçu une difficulté pour les consonnes voisées dans 30 à 40% des paires, les cinq suivantes (e, h, k, c, d) ont perçu une difficulté pour les voisées dans 40 à 60% des paires, tandis que cinq autres (m, l, j, f, n) ont perçu une difficulté pour les consonnes voisées dans 60 à 80% des paires, comme les femmes témoins, et que la dernière (i) a perçu cette difficulté dans 80 à 90% des paires. Nous comparons ces résultats aux valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) pour les consonnes voisées et non voisées. Nous précisons que, en moyenne, chez les 12 femmes témoins, la RFF_a était équivalente pour les deux types de consonnes, entre [-0,3] et [-0,4] demi-tons (dT) à la terminaison des voyelles pré-consonantiques, tandis qu'elle était plus haute pour les consonnes non voisées (1,7dT) que pour les voisées (0,8dT) à l'initiation des voyelles post-consonantiques. Nous relevons cependant plusieurs cas différents ($\text{♀}_4, \text{♀}_6, \text{♀}_9, \text{♀}_{11}, \text{♀}_{12}$). A noter que, pour les participantes de l'expérience n°5, nous avons étudié la production de 108 items tandis que, pour les patientes, dans cette expérience n°6 clinique, nous n'avons étudié que 72 items.

8.1.1. Témoins

8.1.1.1. Taux de perception entre 60 et 80%

Les trois femmes témoins, dont nous présentons les cas, avaient des patterns de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) plutôt semblables et correspondant au pattern observé en moyenne chez les 12 femmes de l'expérience n°5.

8.1.1.1.1. Cas ♀_3

La participante ♀_3 a perçu plus de difficulté dans la production des consonnes voisées que des non voisées dans 58 pourcents (%) des paires, ce qui est très légèrement inférieur à la moyenne observée chez les 96 participants témoins de l'expérience n°1 pour ces mêmes paires d'items (en

excluant les consonnes isolées). Sur la Figure 47, nous observons que les valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) à l'initiation vocalique après les consonnes voisées et non voisées, chez cette femme, sont inférieures à la moyenne observée chez les 12 femmes témoins.

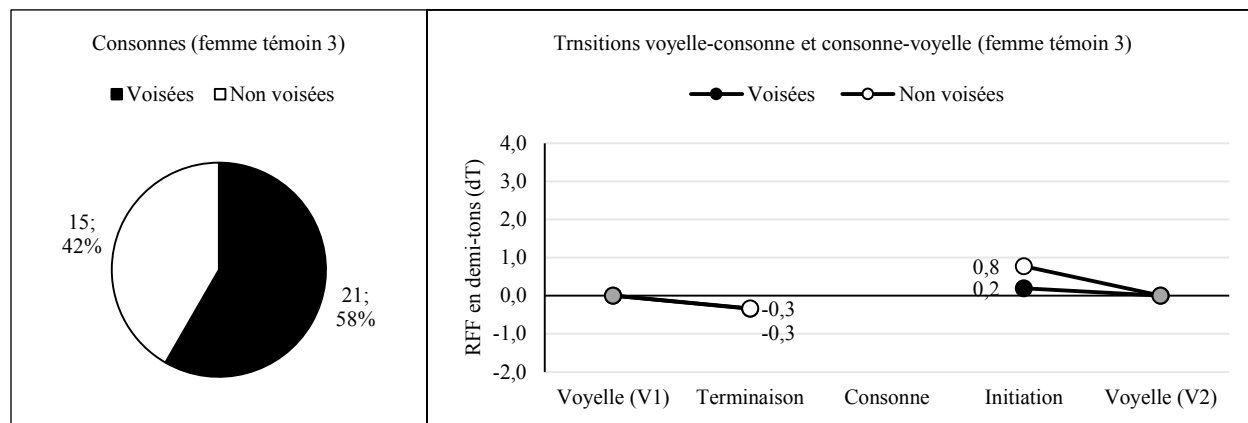


Figure 47 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀₃

8.1.1.1.2. Cas ♀₂

La participante ♀₂ a perçu une difficulté de production des consonnes voisées, comparées aux non voisées, dans environ 70 pourcents (%) des paires et, comme indiqué sur la Figure 48, présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a), à la terminaison vocalique avant les consonnes voisées et non voisées, inférieures à la moyenne observée chez les 12 femmes de l'expérience n°5. De plus, elle présentait une RFF_a, à l'initiation des voyelles suivant les consonnes non voisées, supérieure à la moyenne des 12 participantes de l'expérience n°5.

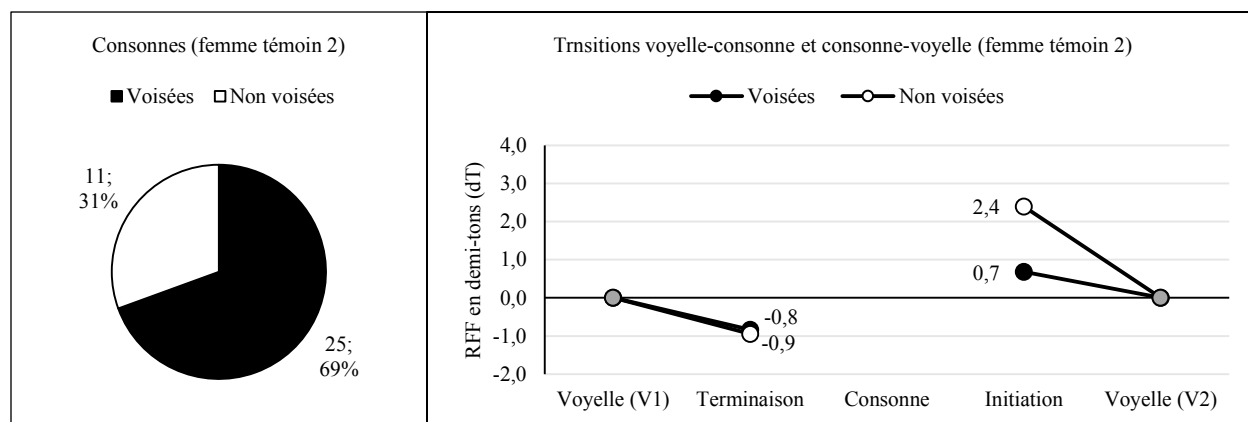


Figure 48 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀₂

8.1.1.1.3. Cas ♀₁

La participante ♀₁ a perçu une difficulté de production des consonnes voisées dans près de 80 pourcents (%) des paires les opposant aux consonnes non voisées et présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) assez semblables aux valeurs moyennes obtenues chez les femmes témoins, dans l'expérience n°5, comme nous pouvons le voir sur la Figure 49.

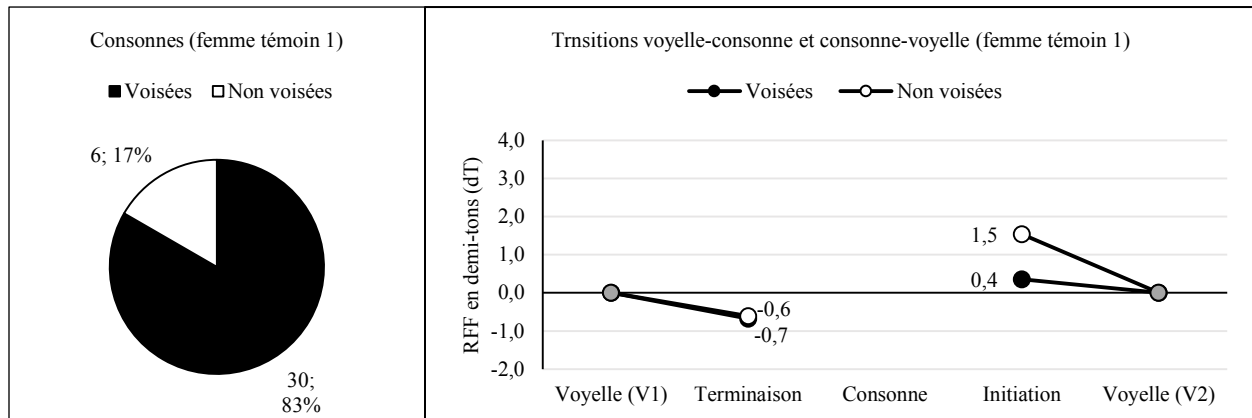


Figure 49 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀₁

8.1.1.2. Cas notables au niveau de la production

Parmi les 12 participantes de l'expérience n°5, nous relevons cinq cas pour lesquels les valeurs ou les patterns de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) différaient des valeurs moyennes ou du pattern observé chez les trois femmes, présentées précédemment. Cependant, pour ces cinq cas, nous ne disposons pas de données concernant la perception de la difficulté de production des consonnes selon leur voisement.

8.1.1.2.1. Cas ♀₄

Pour la participante ♀₄, nous constatons, sur la Figure 50, que la valeur de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) à la terminaison des voyelles précédant une consonne non voisée était supérieure à celle des voyelles précédant une consonne voisée, et même positive.

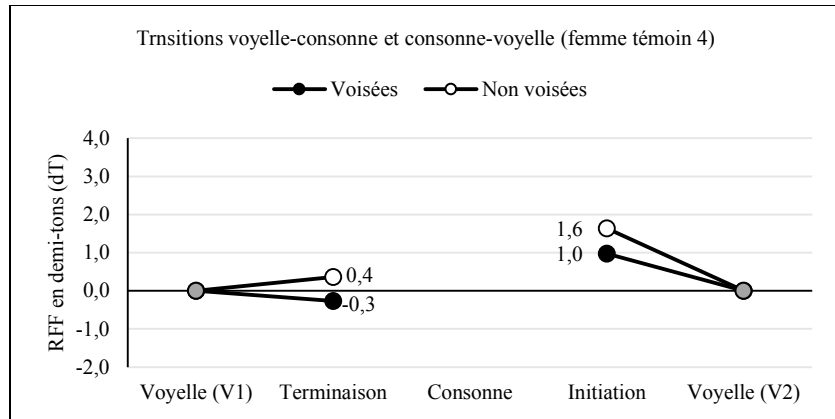


Figure 50 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀₄

8.1.1.2.2. Cas ♀₆

Pour la participante ♀₆, nous observons, sur la Figure 51, que toutes les valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) étaient plus basses à la terminaison vocalique, et plus hautes à l'initiation vocalique, que chez l'ensemble des 12 participantes de l'expérience n°5.

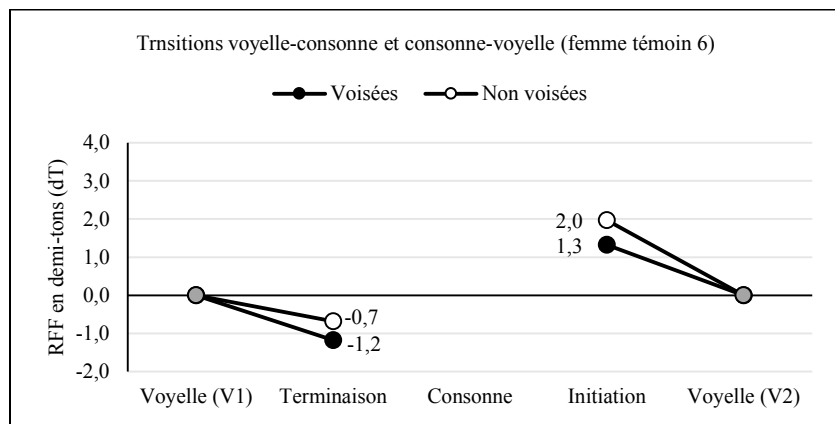


Figure 51 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀₆

8.1.1.2.3. Cas ♀₁₁

La participante ♀₁₁, si elle présentait aussi des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) plutôt basses à la terminaison vocalique comme la participante ♀₆, avait par ailleurs des valeurs de RFF_a plutôt basses à l'initiation vocalique, comme nous le voyons sur la Figure 52.

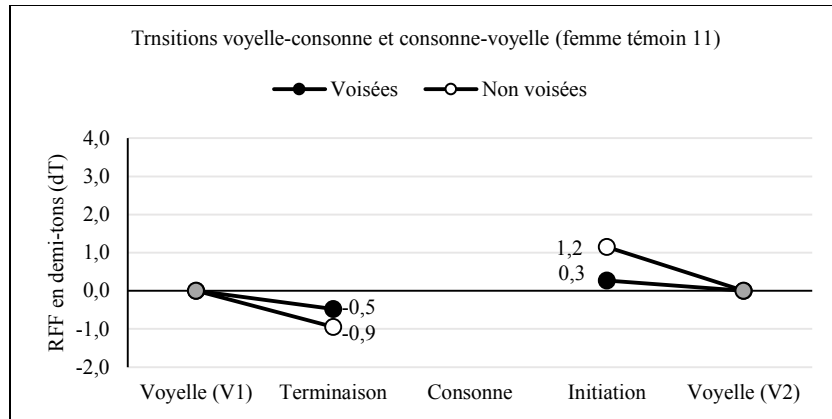


Figure 52 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀₁₁

8.1.1.2.4. Cas ♀₉

Au contraire, la participante ♀₉, présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) à la terminaison vocalique beaucoup plus hautes que les valeurs moyennes des 12 femmes témoins, comme illustré par la Figure 53. De plus, elle avait des valeurs de RFF_a plus basses à l'initiation vocalique, voire négative pour celles des voyelles suivant une consonne voisée.

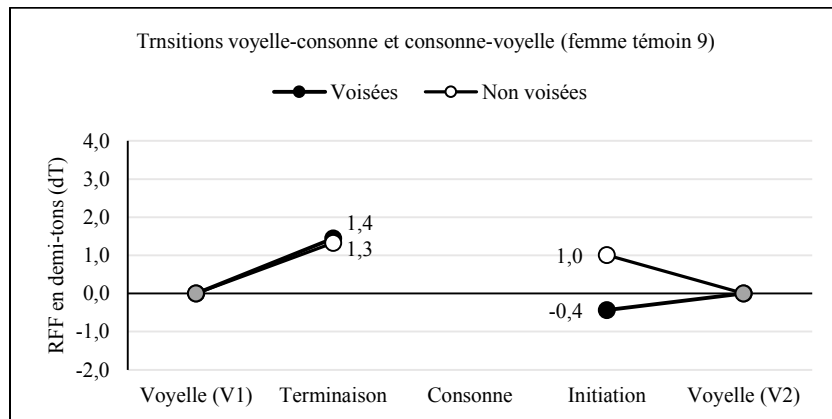


Figure 53 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀₉

8.1.1.2.5. Cas ♀₁₂

Enfin, la participante ♀₁₂, comme illustré sur la Figure 54, présentait une valeur de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) basse à l'initiation des voyelles suivant une consonne non voisée, voire égale à celle observée à l'initiation des voyelles suivant une consonne voisée.

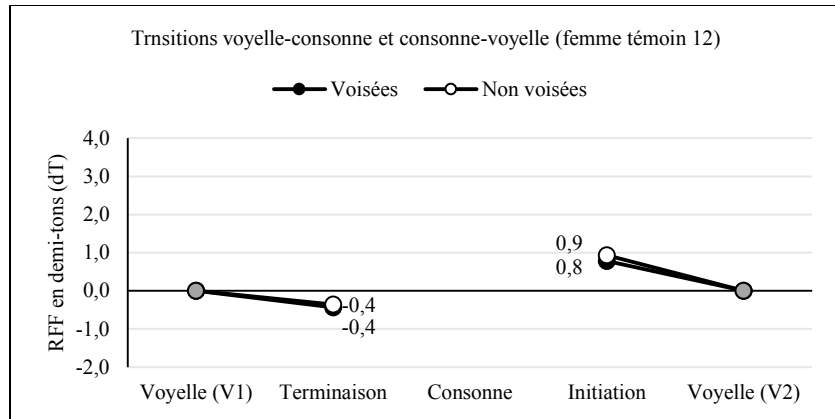


Figure 54 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀₁₂

8.1.2. Patients

8.1.2.1. Taux de perception entre 30 et 40% : Cas g

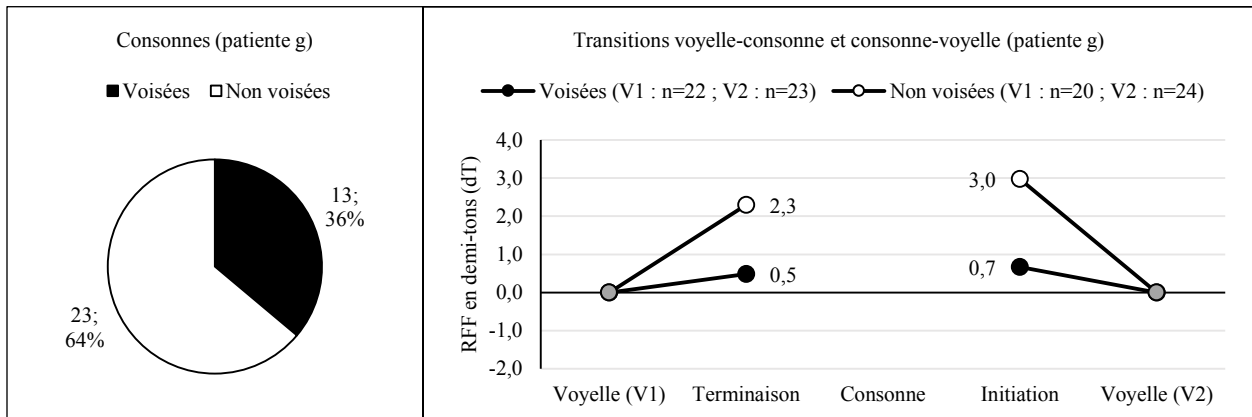


Figure 55 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente g

La patiente **g**, comme nous pouvons l'observer sur la Figure 55, a perçu peu de difficulté de production des consonnes voisées, par rapport aux non voisées correspondantes, et présentait une fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) haute autour des consonnes, notamment pour les non voisées. Cette patiente de 59 ans se plaignait de fatigue vocale et présentait une glotte ovalaire à l'examen laryngologique, probablement dans le cadre d'une presbyphonie (vieillesse des plis vocaux). De plus, elle prenait un traitement régulier contre l'asthme. Perceptivement, nous avons jugé sa voix normale mais sa prosodie était étonnante, avec de très grandes variations

mélodiques. La seule observation que nous pouvons tirer des autres mesures acoustiques réalisées est un taux de voisement (V%) élevé pour les consonnes non voisées (17%). Par ailleurs, la patiente nous a semblé présenter un profil psychologique particulier : elle souffrait de terreurs nocturnes pendant lesquelles elle hurlait, elle avait souffert d'aphonies psychogènes au cours de sa vie et elle était difficilement canalisable pendant l'évaluation et les séances de rééducation orthophoniques.

8.1.2.2. Taux de perception entre 40 et 60%

8.1.2.2.1. Cas e

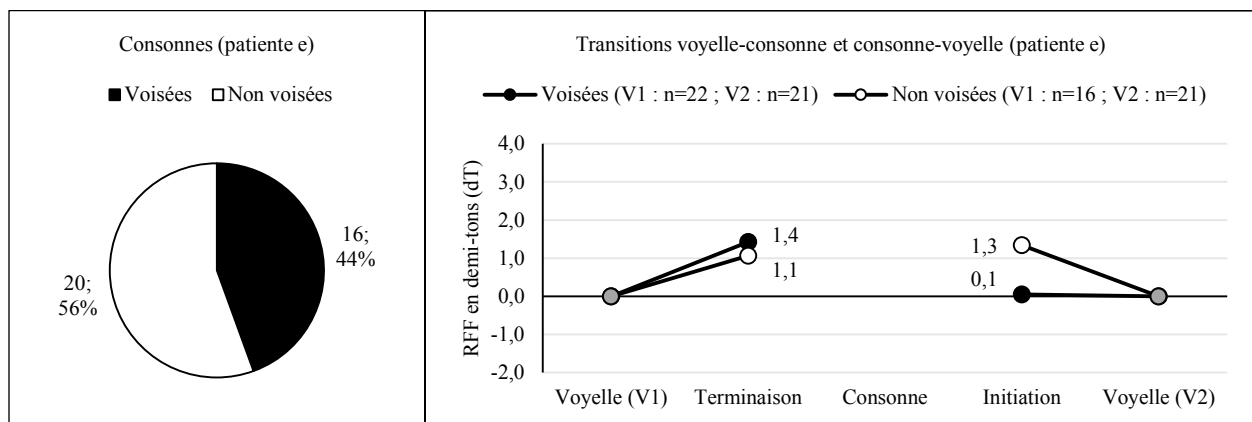


Figure 56 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente e

Sur la Figure 56, nous constatons que la patiente e a perçu peu de différence entre les consonnes voisées et non voisées et que, par rapport aux femmes témoins, elle présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) plus hautes au niveau de la terminaison vocalique mais plus basses au niveau de l'initiation vocalique. Ces valeurs de RFF_a ressemblent à celles observées chez la participante ♀₉, présentée plus haut. Cette patiente se plaignait d'une perte de voix soudaine et récente due à une toux persistante, associée à un hémmeage, et présentait un larynx inflammatoire à l'examen laryngologique. De plus, elle souffrait d'un reflux-gastro-œsophagien (RGO) non traité et suivait, au contraire, un traitement régulier contre l'asthme. Perceptivement, elle présentait une légère dysphonie, avec des dévoisements intermittents dans la parole. Nous observons en effet un taux de voisement (V%) faible, aux alentours de 60 pourcents (%), pour les consonnes voisées. Au niveau de sa personnalité, la patiente nous a semblée plutôt extravertie : elle nous a indiqué avoir l'habitude de parler beaucoup et fort. Comme la patiente

précédente, elle était difficilement canalisable au cours de l'évaluation. De plus, elle a rapidement abandonné la rééducation orthophonique (trois séances).

8.1.2.2.2. Cas h

La patiente **h** a également perçu peu de différence entre la production des consonnes voisées et des consonnes non voisées et elle présentait une fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) plus haute pour les consonnes non voisées à la terminaison vocalique et plus basse pour les voisées à l'initiation vocalique, par rapport aux femmes témoins, comme nous pouvons le voir sur la Figure 57. La valeur de RFF_a à la terminaison des voyelles précédant une consonne non voisée était même positive, comme chez la participante ♀₄. Cette patiente n'avait pas de plainte vocale mais une inquiétude face à la maladie : elle souffrait d'une paralysie laryngée supérieure unilatérale, à la suite d'une chirurgie thyroïdienne. Pour rappel, le nerf laryngé supérieur est moteur pour le muscle crico-thyroïdien (CT), qui est responsable du réglage de la longueur, de la tension et de la raideur des plis vocaux, et sensitif pour le larynx. Perceptivement, nous avons jugé que la patiente présentait une légère dysphonie caractérisée par du souffle, comme un « voile » sur la voix.

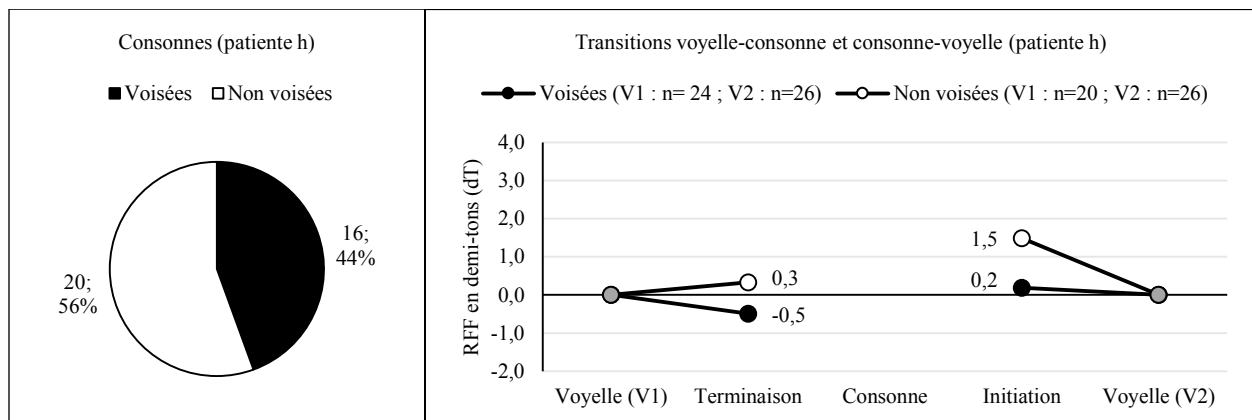


Figure 57 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente h

8.1.2.2.3. Cas k

La patiente **k**, comme les deux patientes précédentes, a perçu peu de différence entre les consonnes voisées et non voisées. Comme illustré sur la Figure 58, elle présentait notamment une fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) plus basse à l'initiation vocalique que les femmes témoins. Cette patiente, âgée de 50 ans, se plaignait d'une perte de voix soudaine, handicapante

pour elle, et l'examen laryngologique mettait en évidence une paralysie récurrentielle unilatérale, qui était probablement d'origine virale. Pour rappel, le nerf laryngé récurrent est moteur pour tous les muscles laryngés intrinsèques, à l'exception des muscles crico-thyroïdiens (CT), et notamment pour les muscles thyro-aryténoïdiens (TA) formant le corps des plis vocaux. Perceptivement, nous avons jugé que cette patiente présentait une dysphonie légère, plutôt caractérisée par une raucité. En ce qui concerne les données acoustiques, le taux de voisement (V%) des consonnes voisées était bas, aux alentours de 60 pourcents (%). Par ailleurs, cette patiente nous a semblé présenter une personnalité particulière, peu coopérante.

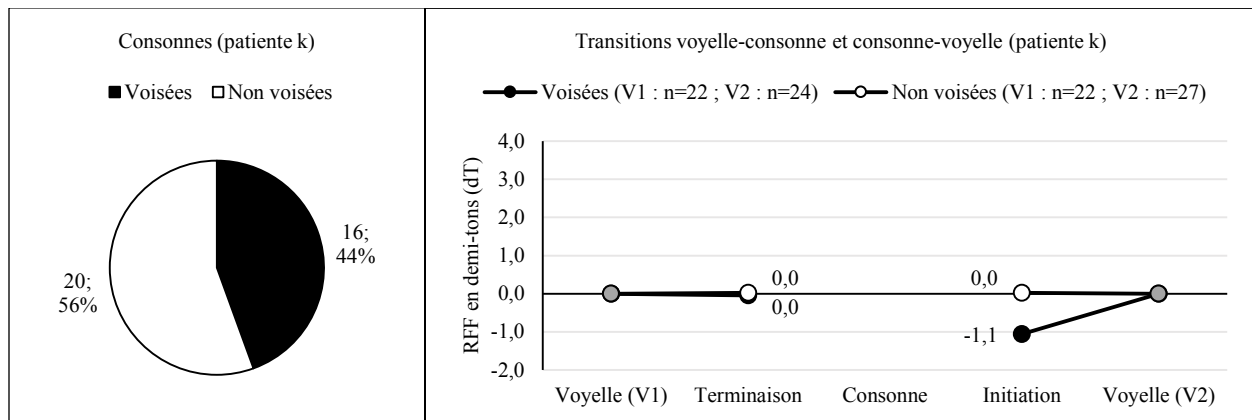


Figure 58 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente k

8.1.2.2.4. Cas c

Comme indiqué sur la Figure 59, la patiente **c** n'a perçu aucune différence entre les consonnes voisées et non voisées et présentait une fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) plutôt basse au niveau de l'initiation des voyelles post-consonantiques. Cette patiente de 65 ans se plaignait de la qualité de sa voix, mais expliquait aussi avoir l'impression de forcer pour la produire, et présentait des lésions cicatricielles consécutives à la chirurgie d'un œdème de Reinke. Nous notons que son tabagisme s'élevait à 50 paquets-années (PA) et était toujours actif. De plus, cette patiente présentait un bruxisme et se plaignait de douleurs irradiantes au niveau de l'oreille, ainsi que de douleurs cervicales chroniques. Perceptivement, nous avons jugé qu'elle présentait une dysphonie assez importante, caractérisée notamment par une irrégularité. Au niveau des données acoustiques dont nous disposons, nous observons une bitonalité, c'est-à-dire une vibration aperiodique des plis vocaux. Par ailleurs, nous estimons que cette patiente, elle aussi difficilement

canalisable, adoptait un comportement d’opposition face à la prise en charge orthophonique, mais aussi médicale de manière générale.

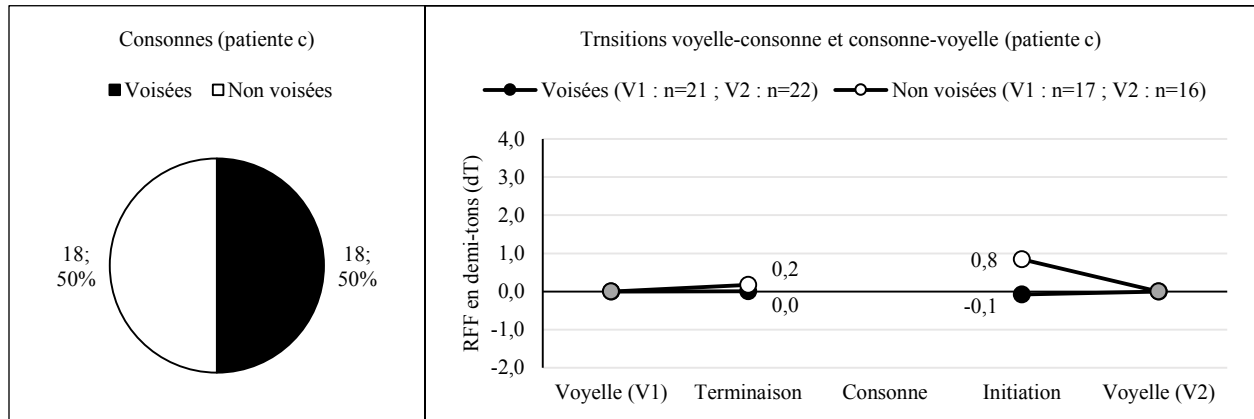


Figure 59 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente c

8.1.2.2.5. Cas d

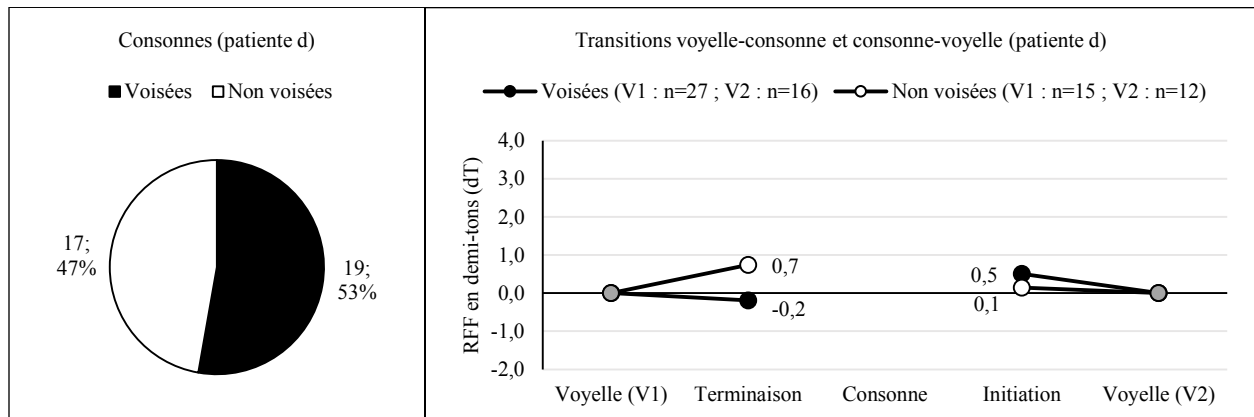


Figure 60 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente d

La patiente **d** a peu perçu de différence entre les consonnes voisées et non voisées, comme indiqué sur la Figure 60, et présentait une fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) assez semblable pour ces deux types de consonnes à l’initiation de la voyelle post-consonantique. Cette patiente de 64 ans se plaignait de la qualité de la voix, qu’elle jugeait soufflée, d’une gêne laryngée et de difficultés de contrôle de la hauteur vocale dans le chant, mais elle présentait un larynx normal à l’examen laryngologique. Cette patiente était sevrée du tabac mais avait beaucoup fumé : 60 paquets-années (PA). De plus, elle souffrait d’un reflux gastro-œsophagien (RGO) non traité.

Perceptivement, nous avons évalué qu'elle présentait une dysphonie légère. D'un point de vue acoustique, nous constatons une bitonalité ainsi qu'un taux de voisement (V%) bas, autour de 60 pourcents (%) pour les consonnes voisées. Par ailleurs, la patiente nous a semblé plutôt introvertie.

8.1.2.3. Taux de perception entre 60 et 80%

8.1.2.3.1. Cas m

Comme illustré par la Figure 61, la patiente **m** a perçu les consonnes voisées comme plus difficile à produire que les non voisées dans 61 pourcents (%) des paires, comme la moyenne des 96 participants témoins de l'expérience n°1 pour les mêmes items, et présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) plutôt basses à la terminaison vocalique mais hautes à l'initiation vocalique. Cette patiente, âgée de 25 ans, se plaignait peu de la qualité de sa voix, mais plutôt de sa fatigabilité, et souffrait de lésions cicatricielles consécutives à une chirurgie de lésions papillomateuses sur les plis vocaux. D'un point de vue perceptif, nous avons jugé que la patiente présentait une dysphonie importante. Par ailleurs, elle présentait plusieurs traits de personnalité de l'extraversion et était volontaire dans la rééducation.

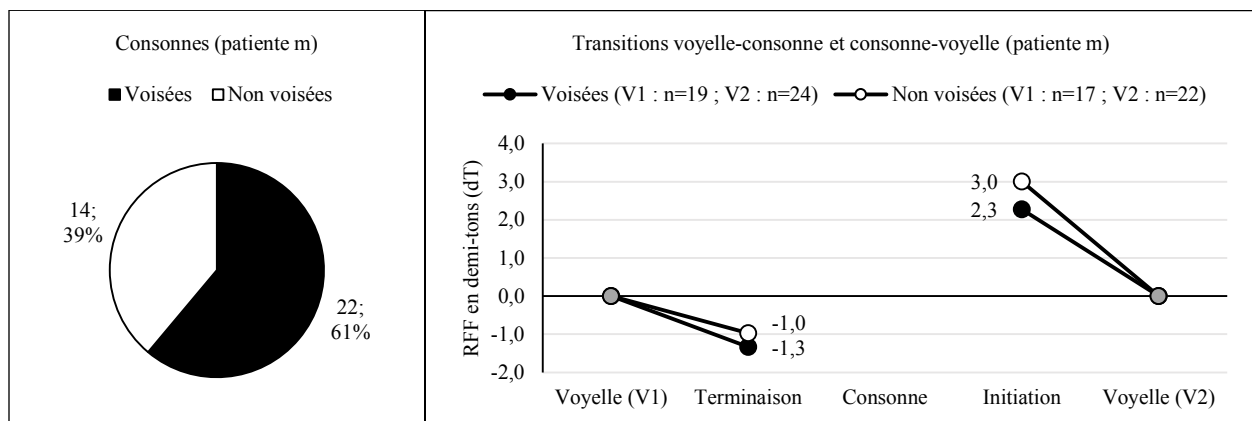


Figure 61 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente m

8.1.2.3.2. Cas l

La patiente **l** a perçu plus de difficulté de production des consonnes voisées dans 67 pourcents (%) des paires les opposant aux non voisées et présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) hautes pour les non voisées à la terminaison vocalique et

basses pour les voisées à l'initiation vocalique, comme nous pouvons l'observer sur la Figure 62. Cette patiente se plaignait de la faible intensité de sa voix et souffrait d'une paralysie récurrentielle unilatérale faisant suite à une chirurgie cervicale après un traumatisme (chute). Elle se plaignait aussi de fausses-routes alimentaires. De plus, elle ne pouvait pas bouger sa tête. Perceptivement, nous avons jugé qu'elle présentait une dysphonie importante. Acoustiquement, nous observons un taux de voisement (V%) très faible des consonnes voisées, aux alentours de 30%, mais des durées de voyelles et de consonnes particulièrement longues. D'ailleurs, cette patiente semblait avoir une personnalité spéciale et produisait une prosodie assez monotone.

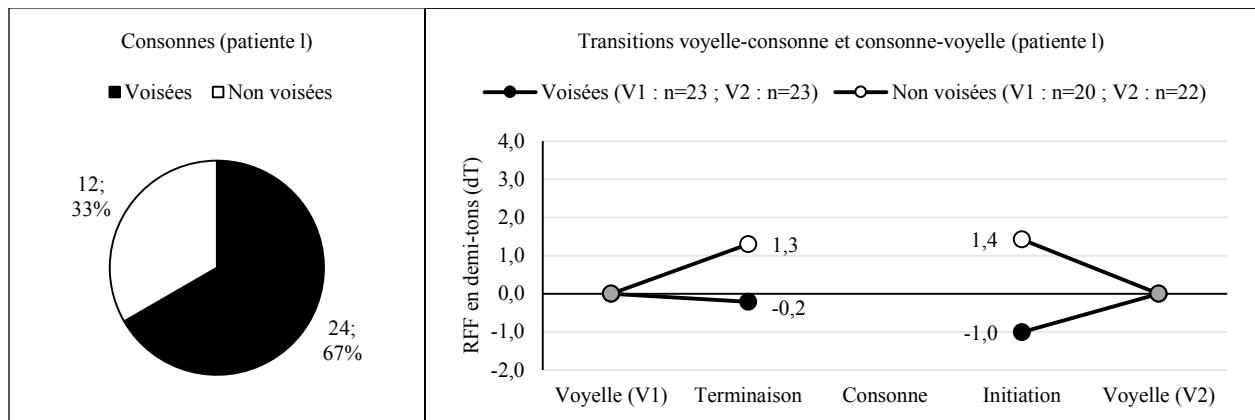


Figure 62 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente 1

8.1.2.3.3. Cas j

Sur la Figure 63, nous constatons que la patiente **j** a perçu plus de difficulté pendant la production des consonnes voisées, en comparaison avec les non voisées, dans environ 70 pourcents (%) des paires et qu'elle présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) semblables pour ces deux types de consonnes, plutôt hautes à la terminaison vocalique et basses à l'initiation vocalique. Cette patiente de 52 ans a été évaluée au cours d'un bilan post-chirurgical, suite à l'opération d'un œdème de Reinke. A noter que son tabagisme était toujours actif. Perceptivement, nous avons évalué sa dysphonie comme importante à ce moment-là, avec des dévoisements fréquents dans le cours de la parole. Acoustiquement, nous observons un faible taux de voisement (V%), aux alentours de 50%, pour les consonnes voisées. Cette patiente semblait plutôt extravertie. Par ailleurs, elle n'a pas souhaité poursuivre une rééducation orthophonique.

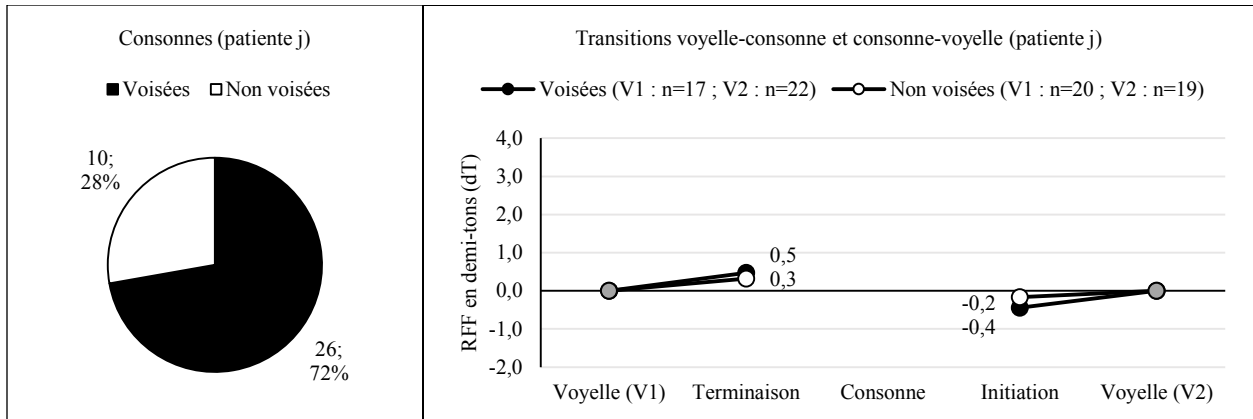


Figure 63 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente j

8.1.2.3.4. Cas f

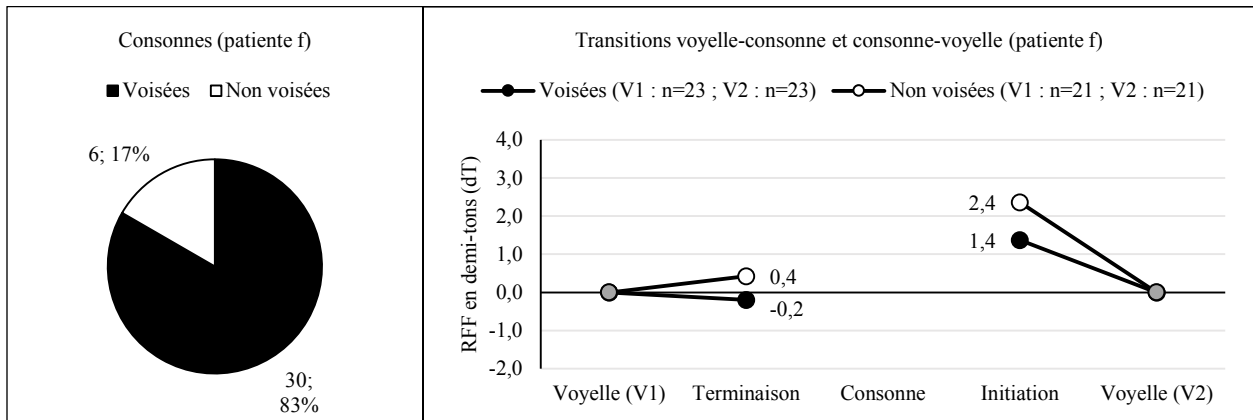


Figure 64 : e expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente f

La patiente **f** a perçu plus de difficulté pendant la réalisation des consonnes voisées, par rapport aux non voisées, dans environ 80 pourcents (%) des paires et présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) plutôt hautes à l'initiation des voyelles post-consonantiques, par rapport aux 12 participantes de l'expérience n°5, comme présenté sur la Figure 64. De plus, la valeur de RFF_a à la terminaison des voyelles précédant une consonne non voisée était positive, comme dans le cas de la femme témoin ♀4. Cette patiente, enseignante, se plaignait d'une fatigue vocale entraînant parfois de courts épisodes d'aphonie mais présentait, à l'examen laryngologique, un larynx normal, avec cependant une légère compression des plis ventriculaires, au-dessus des plis vocaux. Perceptivement, nous avons évalué sa voix comme normale. Au niveau

acoustique, nous constatons un taux de voisement (V%) faible pour les consonnes voisées, aux alentours de 30%, mais des durées consonantiques longues. Par ailleurs, la patiente nous a semblé présenter une personnalité plutôt extravertie et était volontaire dans la rééducation orthophonique.

8.1.2.3.5. Cas n

La patiente **n** a également perçu plus de difficulté dans la production des consonnes voisées, par rapport aux non voisées, dans 80 pourcents (%) des paires, comme indiqué sur la Figure 65, et présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) semblables à celles observées chez les 12 femmes témoins. Cette patiente, âgée de 25 ans, se plaignait de difficultés pour augmenter l'intensité de sa voix, notamment sur son lieu de travail, au contact du public, et présentait un larynx inflammatoire à l'examen laryngologique. De plus, cette patiente indiquait ne pas aimer le son de sa voix, souffrir parfois d'aphonies et ressentir une boule dans la gorge, notamment pendant la déglutition. Elle souffrait aussi d'un reflux gastro-œsophagien (RGO) non traité. Perceptivement, nous avons jugé sa voix normale. Au niveau acoustique, nous observons des durées de voyelles et de consonnes courtes. Par ailleurs, la patiente nous a semblée introvertie.

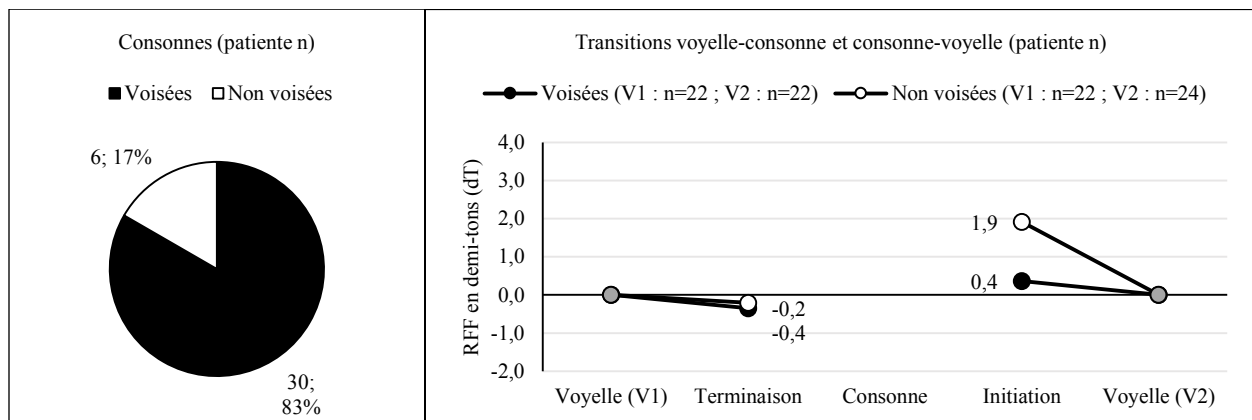


Figure 65 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente n

8.1.2.4. Taux de perception entre 80 et 90% : Cas i

La patiente **i** a perçu une difficulté plus grande dans la production des consonnes voisées, par rapport aux consonnes non voisées, dans 90 pourcents (%) des paires, comme indiqué sur la Figure 66, et présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) basses, notamment à l'initiation vocalique pour les deux types de consonnes, mais aussi à la terminaison

vocalique pour les consonnes voisées, en comparaison avec les valeurs observées chez les femmes témoins. Cette patiente se plaignait de gêne et de douleurs laryngées depuis une intubation 20 ans plus tôt et d'une dégradation de la qualité de la voix suite à une chirurgie récente du tractus vocal. De plus, la patiente indiquait avoir la gorge qui se serrait lorsqu'elle faisait des crises d'angoisse. L'examen laryngologique mettait en évidence un problème de mobilité du cartilage aryténoïde. Perceptivement, nous avons évalué que la patiente présentait une dysphonie très importante. Acoustiquement, nous retrouvons une bitonalité, des difficultés de détection de la fréquence fondamentale (F0) pendant la réalisation des voyelles, traduisant des dévoisements, et un taux de voisement (V%) presque nul des consonnes voisées. Par ailleurs, la patiente nous a paru présenter une personnalité particulière et n'a pas souhaité suivre une rééducation orthophonique.

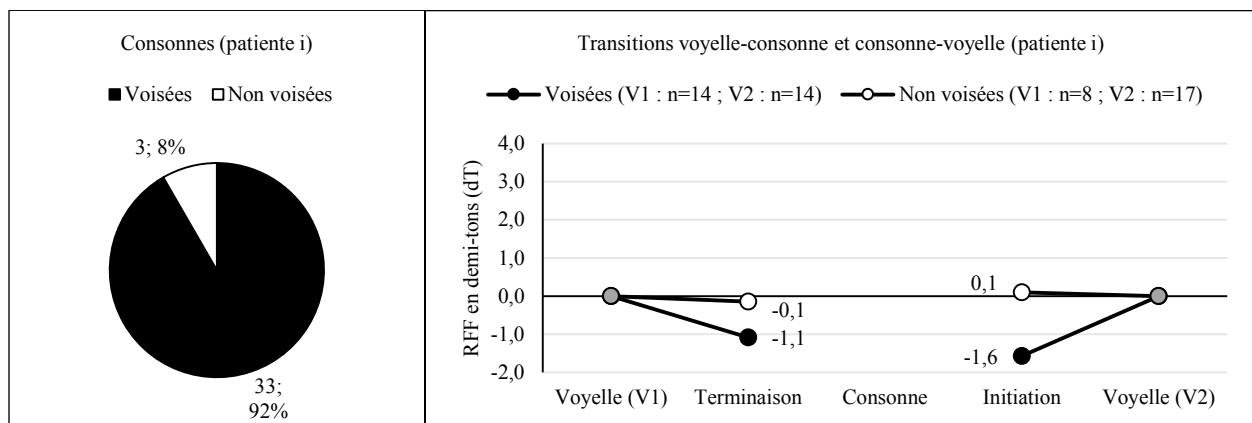


Figure 66 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente i

8.2. Hommes

Nous présentons ici les cas des trois hommes témoins et des trois patients. Les premiers ($\hat{\sigma}_1$, $\hat{\sigma}_2$, $\hat{\sigma}_3$) ont perçu une difficulté de production des consonnes voisées, en comparaison avec les non voisées, dans 70 à 80 pourcents (%) des 36 paires, lors de l'expérience n°1. Parmi les patients, les deux premiers (v, w) ont perçu une difficulté pour la production des consonnes voisées, dans les comparaisons avec les consonnes non voisées, dans 40 à 60% des paires, tandis que le dernier (x) a perçu une difficulté pour les consonnes voisées dans moins de 40% des paires. Nous comparons là encore les résultats aux valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) pour les consonnes voisées et non voisées. La RFF_a, chez les 12 hommes témoins, était équivalente pour

les deux types de consonnes, entre [-0,8] et [-0,9] demi-tons (dT) à la terminaison des voyelles précédant les consonnes alors qu'elle était plus haute pour les non voisées (1,3dT) que pour les voisées (0,9dT) à l'initiation des voyelles suivant ces consonnes. Nous relevons cependant plusieurs cas différents (σ_5 et σ_{10} , σ_6 et σ_{12}) parmi les participants témoins de l'expérience n°5. Nous rappelons que, dans l'expérience n°5, nous avons étudié la production de 108 items tandis que, pour les patients, dans cette expérience clinique, nous n'avons étudié que de 72 items.

8.2.1. Témoins

Parmi les trois hommes témoins, dont nous présentons les cas, l'un avait un pattern de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) très différent du pattern observé en moyenne chez les 12 hommes de l'expérience n°5, avec des valeurs de RFF_a positives à la terminaison vocalique, et les deux derniers avaient un pattern légèrement différent, sans écart entre les valeurs de RFF_a pour les consonnes voisées et non voisées à l'initiation des voyelles suivantes.

8.2.1.1. Taux de perception entre 70 et 80%

8.2.1.1.1. Cas σ_1

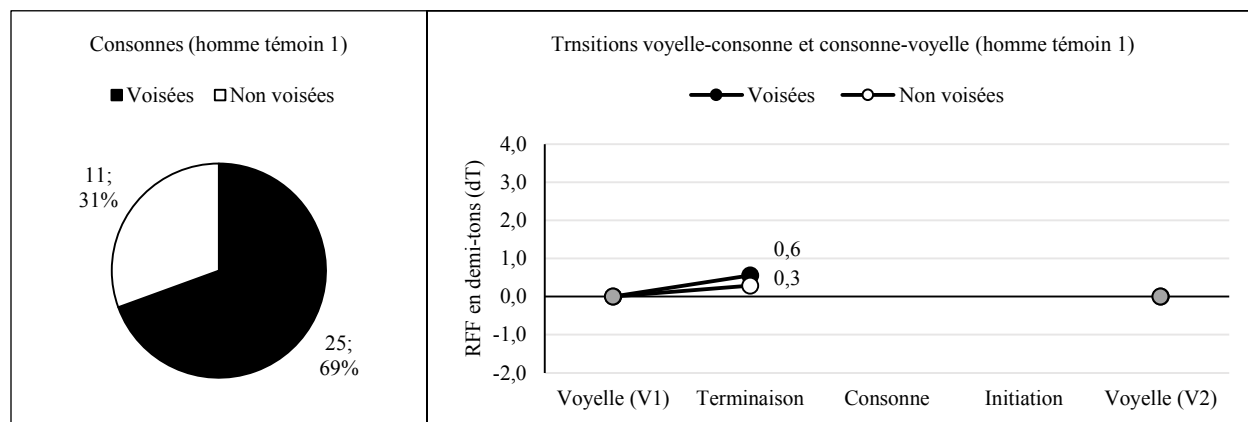


Figure 67 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme σ_1

Le participant σ_1 a perçu, dans environ 70 pourcents (%) des paires, plus de difficulté pour produire les consonnes voisées que les consonnes non voisées. Chez cet homme, nous ne disposons pas de données pour la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) à l'initiation

vocalique. Sur la Figure 67, nous constatons qu'à la terminaison vocalique, aussi bien pour les consonnes voisées que pour les non voisées, les valeurs de RFF_a sont plus hautes que les valeurs moyennes observées chez les participants témoins de l'expérience n°5, et même positives.

8.2.1.1.2. Cas ♂₂

Le participant ♂₂ a perçu davantage de difficulté pour produire les consonnes voisées, par rapport aux non voisées, dans 75 pourcents (%) des paires et ne présentait pas de différences pour les valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) entre ces deux types de consonnes, comme nous pouvons le voir sur la Figure 68.

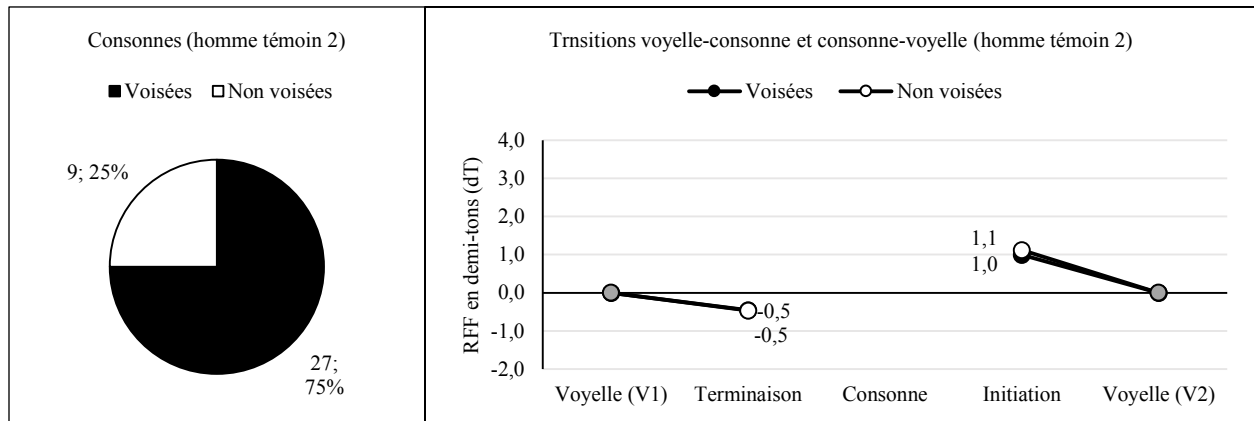


Figure 68 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂₂

8.2.1.1.3. Cas ♂₃

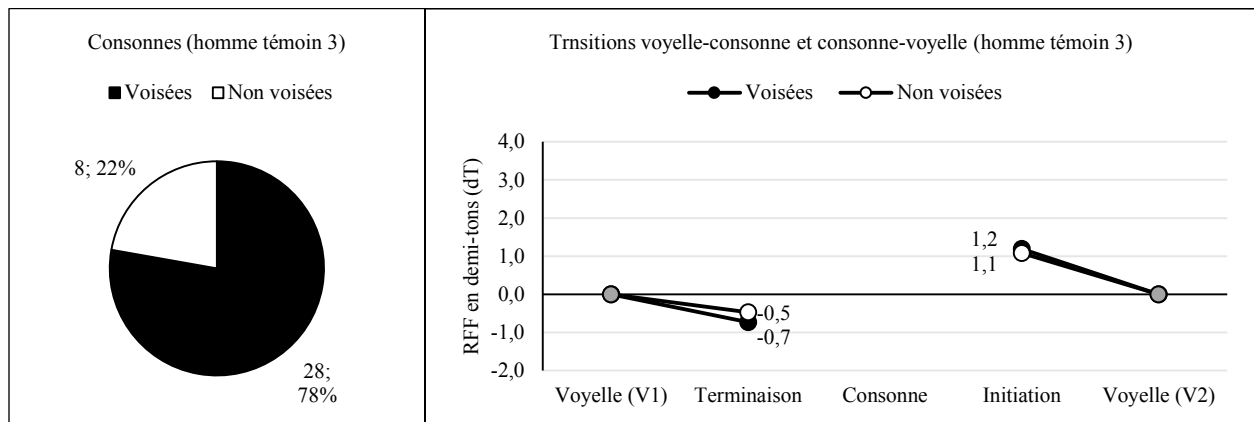


Figure 69 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂₃

Enfin, le participant ♂₃ a perçu une difficulté de production des consonnes voisées dans près de 80 pourcents (%) des paires les opposant aux consonnes non voisées et présentait lui aussi des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) équivalentes pour ces deux types de consonnes, comme illustré par la Figure 69.

8.2.1.2. Cas notables au niveau de la production

Parmi les 12 participants de l'expérience n°5, nous relevons deux types de cas pour lesquels les valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) différaient du pattern observé chez les trois hommes présentés précédemment. Cependant, nous ne disposons pas de données sur la perception de la difficulté, chez ces quatre hommes.

8.2.1.2.1. Cas ♂₅ et ♂₁₀

Sur la Figure 70 et la Figure 71, nous observons que les deux participants témoins, ♂₅ et ♂₁₀ respectivement, présentaient des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) à la terminaison des voyelles pré-consonantiques, un peu plus hautes, mais toujours négatives, pour les consonnes voisées que pour les non voisées. De plus, ils présentaient une différence entre ces deux types de consonnes à l'initiation vocalique.

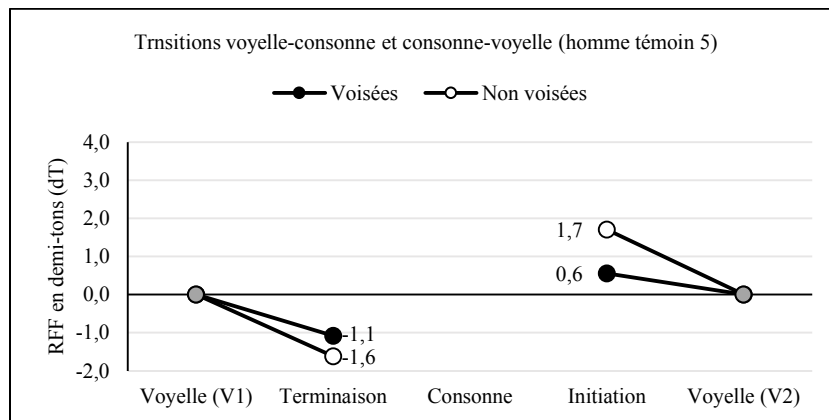


Figure 70 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂₅

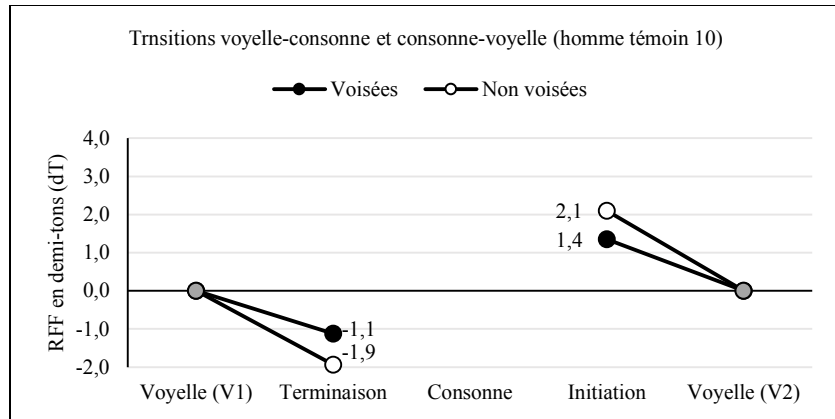


Figure 71 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂₁₀

8.2.1.2.2. Cas ♂₆ et ♂₁₂

Sur la Figure 72 et la Figure 73, nous constatons que les deux participants témoins, ♂₆ et ♂₁₂ respectivement, présentaient des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) à la terminaison des voyelles pré-consonantiques, beaucoup plus hautes pour les consonnes non voisées que pour les voisées, et même positives.

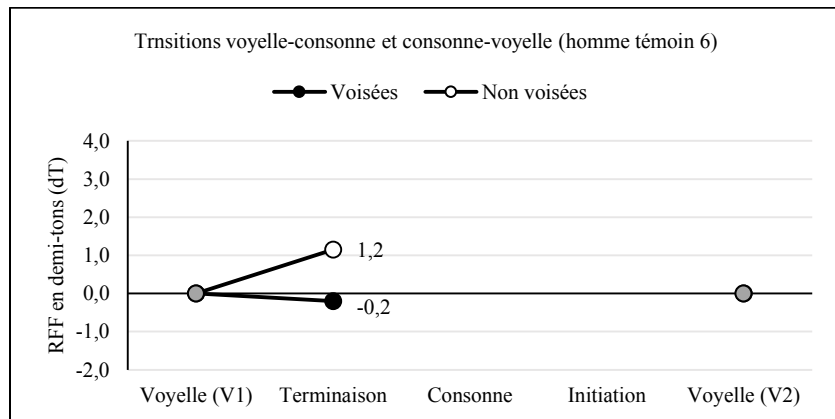


Figure 72 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂₆

De plus, l'homme ♂₁₂, pour qui nous disposons des données, présentait aussi une différence entre les valeurs de RFF_a des consonnes voisées et non voisées à l'initiation des voyelles post-consonantiques. Cette différence était inverse à celle observée le plus couramment : la RFF_a à l'initiation vocalique était plus haute pour les consonnes voisées que pour les non voisées.

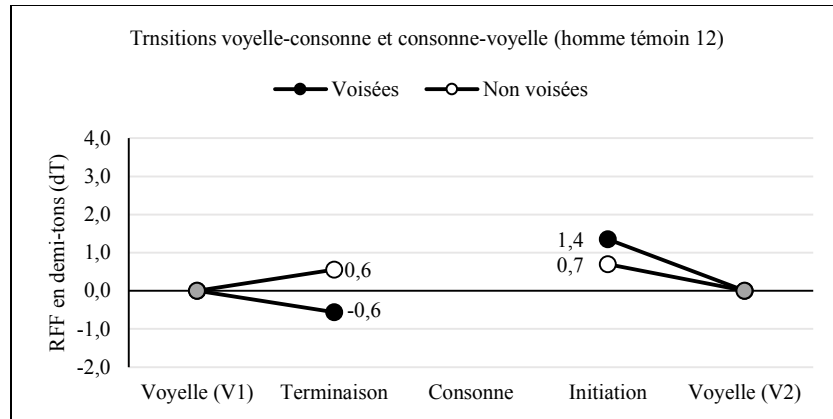


Figure 73 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂₁₂

8.2.2. Patients

8.2.2.1. Taux de perception entre 30 et 40% : Cas x

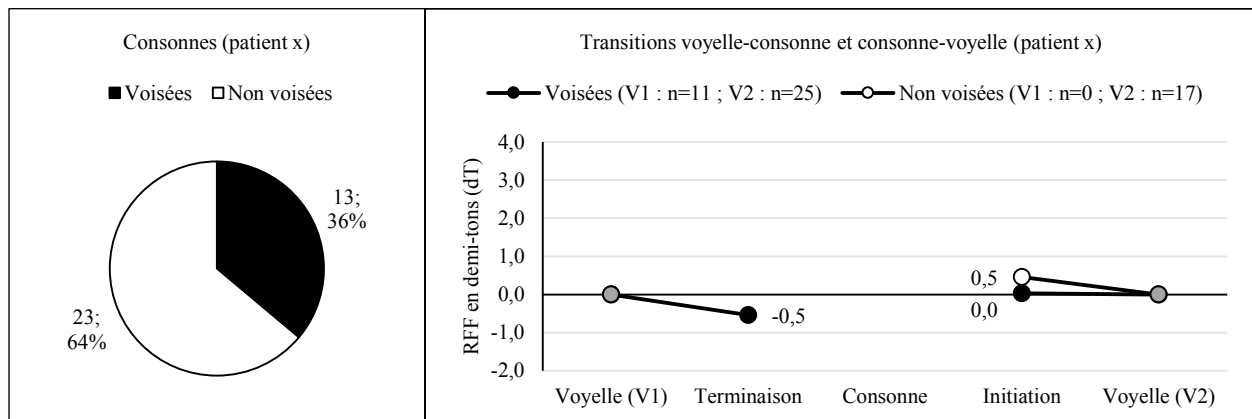


Figure 74 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez le patient x

Le patient x a perçu peu de difficulté pendant la production des consonnes voisées, par rapport aux consonnes non voisées correspondantes, comme indiqué sur la Figure 74, et présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) semblables pour ces deux types de consonnes, plutôt basses à l'initiation des voyelles post-consonantiques, par rapport aux 12 hommes témoins. Ce patient a été évalué lors du bilan post-opératoire, suite à une chirurgie de polype sur un pli vocal. Nous notons qu'il souffrait d'un reflux gastro-œsophagien (RGO) non traité et avait un tabagisme actif. Perceptivement, nous avons jugé qu'il présentait une dysphonie

légère, caractérisée notamment par une irrégularité. Au niveau acoustique, nous constatons des difficultés de détection de la fréquence fondamentale (F0) dans les voyelles et un taux de voisement (V%) faible des consonnes voisées, aux alentours de 50%.

8.2.2.2. Taux de perception entre 40 et 60%

8.2.2.2.1. Cas w

Le patient **w** a perçu peu de différence entre la production des consonnes voisées et non voisées et présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) différentes pour ces deux types de consonnes à la terminaison des voyelles pré-consonantiques, notamment positive pour la non voisée comme dans les cas des participants témoins ♂₆ et ♂₁₂, et semblables à l'initiation des voyelles post-consonantiques, contrairement à ces mêmes participants témoins, comme illustré par la Figure 75. Nous notons que le patient prononçait systématiquement le graphème « g » comme le phonème /ʒ/ et que nous ne l'avons pas corrigé systématiquement. Ce patient, chanteur professionnel âgé de 57 ans, se plaignait d'une perte d'un demi-ton dans les aigus mais présentait, à l'examen laryngologique, un larynx normal. Cependant, il souffrait d'un reflux gastro-œsophagien (RGO) non traité. Perceptivement, nous avons jugé qu'il présentait une légère dysphonie, caractérisée par une voix aigüe et rauque. Acoustiquement, nous notons des difficultés de détection de la fréquence fondamentale (F0).

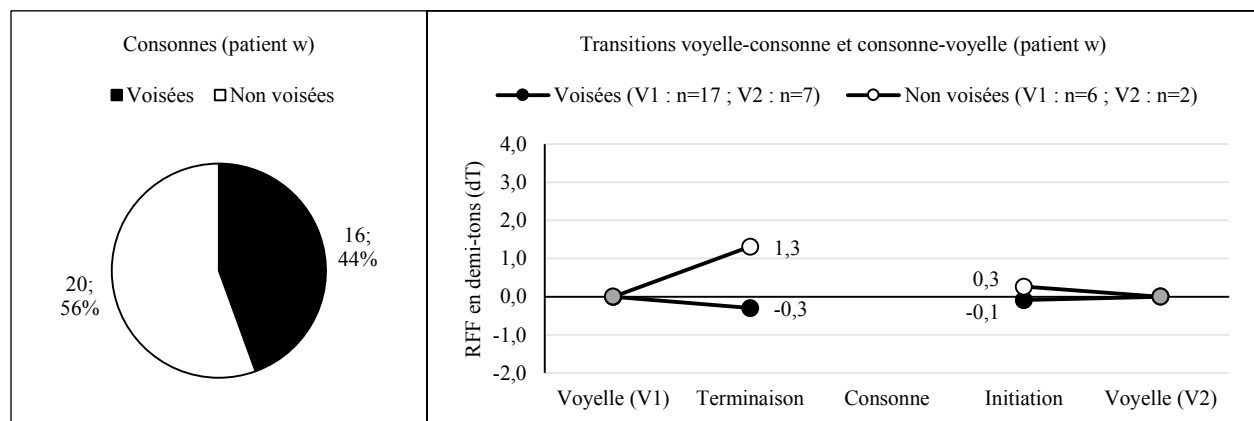


Figure 75 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez le patient w

8.2.2.2.2. Cas v

Le patient v a aussi perçu peu de différence entre les consonnes voisées et non voisées, comme nous pouvons le voir sur la Figure 76, et présentait des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) hautes à la terminaison et basses à l'initiation vocalique pour les consonnes voisées, en comparaison avec les 12 hommes témoins. Ce patient se plaignait de la qualité soufflée et de la faible intensité de sa voix et souffrait d'une paralysie récurrentielle unilatérale d'origine inconnue, pour le traitement de laquelle il avait déjà reçu deux injections d'acide hyaluronique, qui est une matière résorbable, dans le pli vocal. Perceptivement, nous avons évalué la dysphonie comme très importante. Acoustiquement, nous constatons une bitonalité et des difficultés de détection de la fréquence fondamentale (F0). Par ailleurs, nous estimons que le patient était plutôt extraverti.

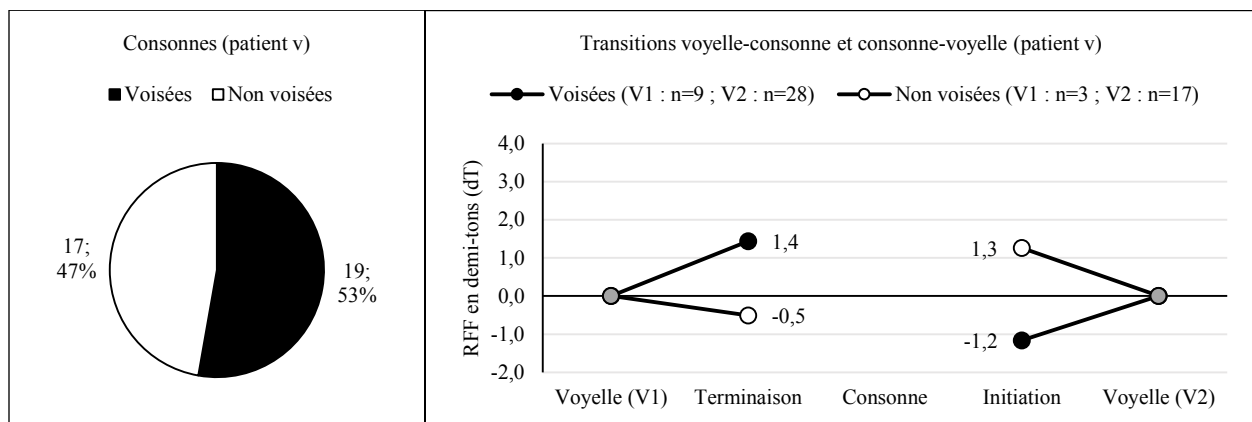


Figure 76 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez le patient v

8.3. Résumé

Dans cette expérience clinique, chez les patients nous observons des patterns et des valeurs de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) différents de ceux observés chez les six sujets sains qui présentaient de fort taux de perception de la difficulté dans la production des consonnes voisées (expérience n°1). Cependant, nous retrouvons aussi des patterns et des valeurs de RFF_a différents chez certains sujets sains (expérience n°5). Par ailleurs, il semble que l'investissement du patient dans la tâche de perception ait une influence sur le résultat obtenu en perception.

III

Observations

&

Discussion

9. Observations

Avant de mettre en perspective et de discuter les résultats obtenus dans les six expériences que nous avons réalisées dans cette étude, nous souhaitons les synthétiser. En effet, la présentation de ces nombreuses données et de leurs valeurs statistiques était très détaillée. Nous présentons ici les observations principales que nous tirons de ces résultats. Nous présentons d’abord les résultats perceptifs des expériences n°1, n°2 et n°3, menées auprès des participants témoins, en distinguant ceux qui concernent le voisement et ceux qui concernent les autres paramètres articulatoires des consonnes orales ou les structures syllabiques. Ensuite, nous présentons les résultats physiques des expériences n°4 et n°5, elles aussi menées auprès des participants témoins, en distinguant ceux qui concernent l’éllicitation et ceux qui concernent l’évaluation de l’effort. De plus, nous distinguons les résultats associés à l’effort articulatoire et les résultats associés à l’effort phonatoire. Enfin, nous présentons les résultats perceptifs et physiques obtenus de manière non simultanée auprès de sujets sains et de manière simultanée auprès de patients dysphoniques, dans notre étude clinique.

9.1. Perception

Dans cette étude de l'effort phonatoire, d'une part, nous posons la question de la dissociation avec l'effort articulaire et, d'autre part, nous cherchions à développer une mesure perceptive. Nous avons réalisé trois expériences auprès de participants témoins (n°1, n°2, n°3), dans lesquelles nous étudions la perception de la difficulté – ou de la facilité – de production d'items au sein de paires. Ces items étaient formés de l'une des 12 consonnes orales du français /f, v, p, b, s, z, t, d, ʃ, ʒ, k, g/, que nous avons sélectionnées car elles pouvaient être opposées deux-à-deux selon leur voisement, et d'une voyelle orale ouverte /a/, dans des structures syllabiques simples directes, de type consonne-voyelle (#CV), et indirectes, de type voyelle-consonne (VC#), ou dissyllabiques simples, de type voyelle-consonne-voyelle (VCV). Dans les deux expériences menées en parole vocale modale usuelle (n°1 et n°3), nous avons aussi étudié les consonnes isolées. Dans toutes ces expériences, nous avons opposé systématiquement les items en fonction de leur structure, ainsi que du voisement, du mode ou du lieu articulaire de leur consonne, mais non en fonction de la consonne elle-même, ce qui signifie que chaque consonne était opposée à quatre des 11 autres.

9.1.1. Selon le voisement

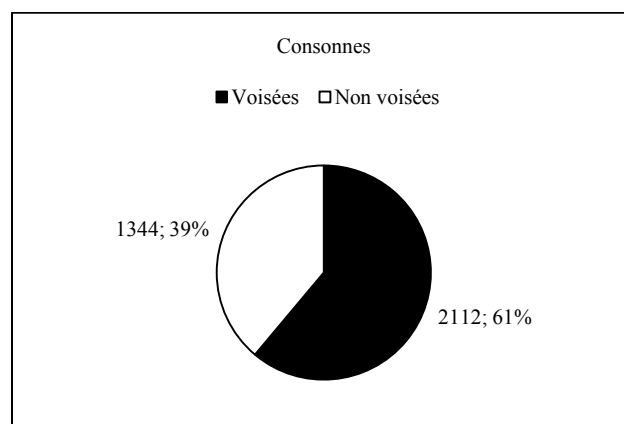


Figure 77 : taux d'auto-perception de la difficulté en fonction du voisement des consonnes, dans des structures syllabiques, chez les 96 participants témoins de l'expérience n°1 en parole modale

Dans ces trois expériences de perception, les individus qui participaient pour la première fois, c'est-à-dire 96 participants dans l'expérience n°1 et 12 participants dans les expériences n°2 et n°3, ont perçu davantage de difficulté de production pour les consonnes voisées, qui étaient opposées

à leurs correspondantes non voisées, dans environ six paires sur 10, en confondant les positions pré-vocalique (#CV), intervocalique (VCV) et postvocalique (VC#) des consonnes. Ces résultats sont illustrés par la Figure 77 pour l'expérience n°1 de perception dans sa propre parole en voix usuelle (expérience principale), la Figure 78 pour l'expérience n°2 de perception dans sa propre parole chuchotée et la Figure 79 pour l'expérience n°3 de perception dans la parole usuelle d'autrui.

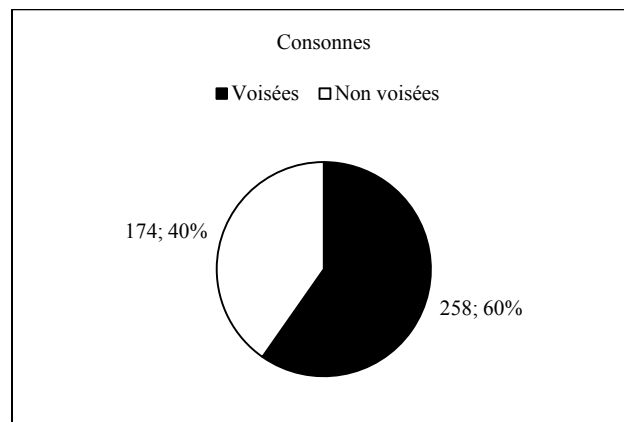


Figure 78 : taux d'auto-perception de la difficulté en fonction du voisement des consonnes, dans des structures syllabiques, chez les 12 nouveaux participants témoins de l'expérience n°2 en parole chuchotée

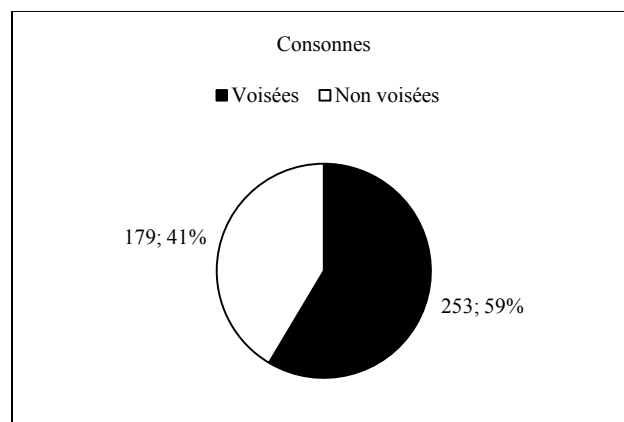


Figure 79 : taux d'hétéro-perception de la difficulté en fonction du voisement des consonnes, dans des structures syllabiques, chez les 12 nouveaux participants témoins de l'expérience n°3 en parole modale

Le taux observé dans l'expérience principale n°1, 61 pourcents (%), correspond à un score de 22 consonnes voisées perçues comme difficiles, par rapport aux non voisées, sur 36 paires d'items. Ce score ne différait pas significativement entre les hommes et les femmes. Dans cette première expérience, pour laquelle nous disposons d'un grand nombre de données, nous notons que ce taux moyen correspond à celui observé pour les oppositions de consonnes apico-alvéolaires (médianes), fricatives /s, z/ et occlusives /t, d/, et de consonnes occlusives bilabiales /p, b/. Sur la

Figure 80, qui présente la distribution des participants témoins de l'expérience n°1 selon le taux de consonnes voisées perçues comme plus difficiles que les non voisées, nous observons que seuls huit individus ont, au contraire, perçu 39% ou moins de difficulté pour ces consonnes voisées. La distribution de notre indice de perception, semble normale, et son centre décalé au-dessus de 50%.

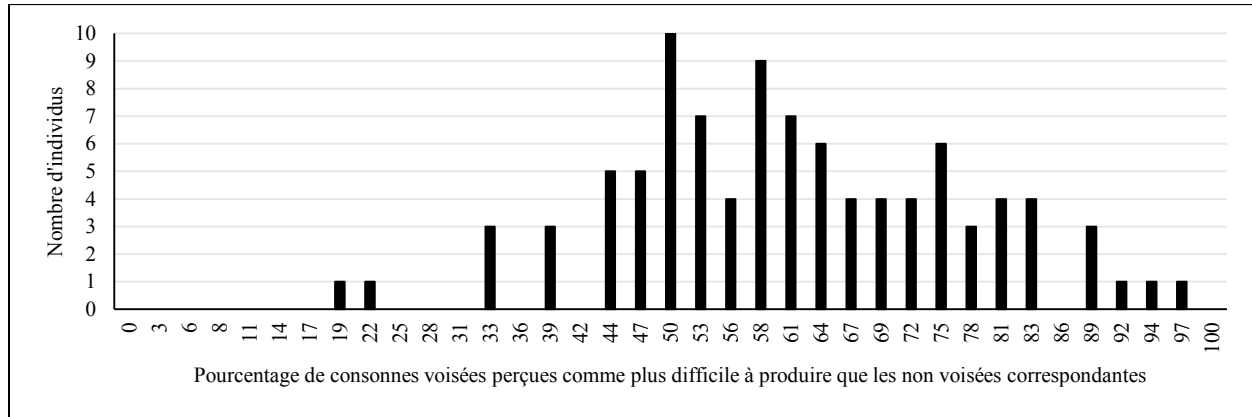


Figure 80 : répartition des 96 participants témoins de l'expérience n°1 en fonction du taux de perception de la difficulté des consonnes voisées

Cependant, pour un individu, la probabilité (p) d'obtenir un score inférieur à 13 ou supérieur à 23 sur 36 paires, autrement dit de percevoir les consonnes voisées comme difficiles dans moins de 36 pourcents (%) ou dans plus de 64% des paires, est seulement de 10% ($p < 0,1$). La probabilité d'obtenir un score inférieur à 10 ou supérieur à 26 sur 36 paires, autrement dit de percevoir les consonnes voisées comme difficiles dans moins de 28% ou dans plus de 72% des paires, est quant à elle de 1% ($p < 0,01$). Dans l'expérience principale (n°1), sur la Figure 80, nous observons que cinq individus parmi les 96 participants ont effectivement obtenu un score inférieur à 13 sur 36 paires d'items avec une opposition de voisement (36% de difficulté pour les consonnes voisées), dont deux un score inférieur à 10 (28%), tandis que 41 individus ont obtenu un score supérieur ou égal à 23 sur 36 paires (64%), dont 27 un score supérieur ou égal à 26 (72%).

La perception de la difficulté de production des consonnes voisées, en comparaison avec les non voisées correspondantes, ne variait pas selon le mode articulatoire dans ces trois expériences de perception. En revanche, elle variait avec le lieu articulatoire : elle était plus grande d'environ 10 pourcents (%), pour les consonnes occlusives dorso-vélaires /k, g/ (environ 70% de perception de la voisée comme plus difficile que la non voisée) que pour les apico-alvéolaires /t, d/ et les bilabiales /p, b/. Elle était aussi plus grande d'environ 10% pour les fricatives apico-post-

alvéolaires /ʃ, ʒ/ (70%) que pour les apico-alvéolaires /s, z/. Nous remarquons le cas des consonnes fricatives labiodentales /f, v/, pour lesquelles l'effet du voisement était inversé, avec seulement 40% environ de perception de la voisée comme la plus difficile à produire dans les paires. Ces deux consonnes avaient été étudiées de façon particulière dans l'expérience n°4 de production, dans laquelle nous avons réalisé des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques, et présentaient aussi des effets non attendus, comme nous le décrivons plus bas. Dans cette expérience de production, nous avons aussi étudié particulièrement les consonnes occlusives bilabiales /p, b/, pour lesquelles le taux de perception était typique et nous avons, pour celles-ci, observé des effets attendus.

Par ailleurs, nous notons que dans l'expérience n°1 de perception de sa propre parole produite avec une voix usuelle, l'effet du voisement sur la perception de la difficulté de production est plus important, ce qui signifie que les consonnes voisées sont perçues comme plus difficiles, pour les initiales (#CV) que pour les finales (VC#) et pour ces dernières que pour les médiales (VCV). De plus, dans les expériences n°1 et n°3, dans lesquelles nous explorions aussi les consonnes isolées, l'effet observé était le plus important pour celles-ci.

Enfin, nous notons que l'effet du voisement sur la perception de leur propre difficulté de production était significativement plus important chez les participants les plus jeunes, âgés de 15 à 35 ans, que chez les participants les plus vieux, âgés de 35 à 55 ans. Et, dans l'expérience n°3, l'effet du voisement sur la perception de la difficulté de production d'une tierce personne semblait plus grand, chez les hommes, pour le locuteur *z*, dont la voix nous paraissait plus altérée, que pour le locuteur *y*. Cependant, le nombre de données était faible et cet effet n'était pas significatif.

9.1.2. Selon la structure syllabique

Dans la plupart des expériences que nous avons menées dans cette étude, nous avons étudié trois structures syllabiques : la première était une syllabe simple directe de type consonne-voyelle (#CV), la deuxième une syllabe simple indirecte de type voyelle-consonne (VC#) et la dernière était un logatome dissyllabique simple de type voyelle-consonne-voyelle (VCV). L'utilisation de ces différentes structures visait à placer les consonnes voisées ou non voisées étudiées en position initiale (#CV), médiale (VCV) ou finale (VC#). Dans les trois expériences de perception (n°1, n°2,

n°3), nous avons donc exploré l'effet de la structure sur la difficulté ressentie pendant la production. De plus, dans les expériences n°1 et n°3, en parole usuelle, nous avons étudié les consonnes isolées.

Dans toutes les expériences de perception, à l'exception des consonnes isolées qui étaient toujours perçues comme les plus difficiles à produire dans les paires d'items, nous constatons que la structure VC# a été largement perçue comme difficile, par rapport aux structures #CV et VCV. Par ailleurs, la structure VCV, qui comportait trois phonèmes et donc trois graphèmes, a été perçue comme plus difficile à produire que la structure #CV, qui n'en comportait que deux, dans les expériences n°1 et n°2 impliquant la lecture des items. Au contraire, c'est la structure #CV qui a été perçue comme plus difficile que la structure VCV dans l'expérience n°3, qui impliquait l'écoute des items. Cependant, les taux de perception de la difficulté de production de ces deux structures restaient proches. Nous notons tout de même que, dans ces trois expériences de perception, la structure VCV a été perçue comme plus difficile lorsqu'elle contenait une consonne fricative. Enfin, cette structure VCV a aussi été perçue, dans l'expérience n°1 du moins, comme plus difficile lorsqu'elle contenait une consonne non voisée.

9.1.3. Selon le mode ou le lieu articulatoire

Dans les expériences de perception, nous avons aussi étudié des comparaisons de consonnes selon leur mode ou leur lieu articulatoire. Cependant, toutes les consonnes n'étaient pas opposées de façon systématique aux autres. Par exemple, la consonne /v/ était opposée à la consonne /f/ pour l'étude de l'effet du voisement que nous avons décrit plus haut, aux consonnes /z/ et /ʒ/ pour l'étude de l'effet du lieu articulatoire et à la consonne /b/ pour l'étude de l'effet du mode articulatoire. Dans le dernier cas, le lieu articulatoire variait lui aussi. Dans ces conditions, nous n'observons pas d'effet constant du mode articulatoire de la consonne sur la perception de la difficulté de production, à travers les différentes expériences. En considérant uniquement les consonnes apico-alvéolaires (médianes) dans l'expérience principale (n°1), c'est-à-dire les oppositions entre des consonnes fricatives /s, z/ et occlusives /t, d/ présentant le même point d'articulation, nous constatons que ce sont les consonnes fricatives qui ont été perçues comme plus difficiles à produire, dans approximativement 55 pourcents (%) des paires. Par ailleurs, nous n'avons pas observé d'interaction significative du voisement de la consonne sur cet effet du mode articulatoire.

Les différences de perception observées dans les paires d'items présentant une opposition de lieu articulaire étaient plus tranchées. Notamment, les consonnes postérieures, fricatives /ʃ, ʒ/ d'un côté et occlusives /k, g/ de l'autre, ont été perçues comme plus difficiles à produire, en comparaison respectivement avec les médianes /s, z/ et /t, d/ et les antérieures /f, v/ et /p, b/, dans 60 à 70 pourcents (%) des paires, selon les expériences. Cet effet semblait plus important dans l'expérience n°2 de perception dans sa propre parole chuchotée, mais moins important dans l'expérience n°3 de perception dans la parole usuelle d'un autre locuteur. Cependant, ces études incluaient seulement 24 participants chacune. Nous observons que l'effet du lieu articulaire était plus grand pour les consonnes occlusives, dont les points d'articulation sont plus éloignés les uns des autres (bilabial pour les antérieures à dorso-vélaire pour les postérieures) que pour les fricatives, dont les points d'articulation sont plus proches (labiodental pour les antérieures et apico-post-alvéolaire pour les postérieures). Concernant la différence de perception entre les consonnes antérieures et médianes, elle était variable, excepté pour les consonnes voisées. Effectivement, la perception de la difficulté de production pour les consonnes voisées allait croissante des antérieures (fricatives labiodentales ou occlusives bilabiales), en passant par les médianes (fricatives ou occlusives apico-alvéolaires), jusqu'aux postérieures (fricatives apico-post-alvéolaires ou occlusives dorso-vélaire).

9.2. Production

Dans cette étude de l'effort phonatoire, en plus de la question de la dissociation avec l'effort articulaire, nous posons aussi la question de la dissociation avec les qualités vibratoires des plis vocaux et, de plus, nous cherchions à développer une mesure physique. Nous avons réalisé deux expériences (n°4 et n°5), dans lesquelles nous avons d'abord essayé d'éliciter un comportement d'effort phonatoire chez des sujets sains afin d'effectuer des comparaisons intra-individuelles, puis nous avons réalisé des mesures physiques de différentes sortes, et notamment une adaptation de la mesure acoustique de fréquence fondamentale relative (RFF) proposée par Stepp pour évaluer l'effort phonatoire, mais aussi d'autres mesures acoustiques, ainsi que des mesures physiologiques et aérodynamiques dans l'expérience n°4. Dans l'expérience n°5, nous avons eu la possibilité d'étudier les mêmes items que ceux présentés dans les expériences de perception, à savoir des structures syllabiques simples directes (consonne-voyelle : #CV) ou indirectes (voyelle-consonne :

VC#) et des structures dissyllabiques simples (voyelle-consonne-voyelle : VCV) formées avec la voyelle orale ouverte /a/ et chacune des 12 consonnes orales du français /f, v, p, b, s, z, t, d, ʃ, ʒ, k, g/ que nous pouvions opposer deux-à-deux selon le voisement.

Dans l'expérience n°4, en revanche, nous avons été contraints matériellement, pour les enregistrements aérodynamiques, à étudier seulement les consonnes antérieures : les fricatives labiodentale /f, v/ et les occlusives bilabiales /p, b/. Il se trouve que, dans les expériences de perception, nous avons observé une particularité pour les consonnes fricatives : les participants avaient perçu plus de difficulté de production de la non voisée /f/, par rapport à la voisée /v/, dans environ 60 pourcents (%) des paires d'items alors que, pour toutes les autres paires, ils avaient perçu plus de difficulté de production pour les consonnes voisées, notamment dans environ 60% des paires pour les occlusives /p, b/. De plus, dans cette expérience n°4, comme nous souhaitions comparer certaines valeurs aérodynamiques, entre les consonnes voisées et les non voisées correspondantes, en limitant la variation de la pression sous-glottique (SGP), que nous ne pouvions pas contrôler, nous avons placé ces quatre consonnes dans des trains de syllabes produits sur une seule expiration phonatoire. Les consonnes étudiées se trouvaient donc en position intervocalique, dans des structures apparentées au logatome dissyllabique simple (voyelle-consonne-voyelle : VCV). Cependant un phénomène de syllabation a pu apparaître et nous considérons donc que les consonnes se trouvaient dans des structures de type V-CV.

9.2.1. Elicitation de l'effort

Dans ces deux expériences de production, nous avons essayé d'éliciter un comportement d'effort phonatoire. Dans l'expérience n°4, nous avons exploré les diverses techniques proposées dans la littérature, à savoir le contrôle de l'intensité, de la hauteur ou de la qualité vocale. Nous notons que les participants naïfs ont éprouvé des difficultés pour contrôler la qualité de leur voix et produisaient, dans cinq cas sur 12, la qualité opposée : soufflée pour pressée ou pressée pour soufflée. Nous notons aussi que la consigne de contrôle de l'intensité consistant à produire une voix forte n'a pas été respectée dans deux cas sur 12. Cependant, cette consigne permettait le plus souvent d'induire la production d'une voix forte-aigüe-pressée (F+), que nous considérons *a priori* comme impliquant davantage d'effort phonatoire. Dans l'expérience n°5, nous avons uniquement utilisé le contrôle de la hauteur car cette consigne était facilement respectée et, avec les instruments

de mesure utilisés, nous ne pouvions pas contrôler l'intensité de la voix. Cette consigne a permis d'induire la production d'une voix aigüe-pressée (f+) dans 11 cas sur 24, dont sept chez les femmes.

Dans l'expérience n°4, en plus des 18 productions de voix forte-aigüe-pressée (F+), dont la moitié chez les femmes, nous avons obtenu sept productions de voix faible-grave-soufflée (F-), dont cinq chez les femmes. Nous considérons *a priori* ce dernier type de voix comme produit avec peu d'effort phonatoire. De plus, nous avons observé deux autres productions vocales récurrentes : trois occurrences de voix faible-grave-pressée apparaissant typiquement chez les femmes (Tf), avec tout de même une occurrence chez les hommes, et quatre occurrences de voix faible-aigüe-soufflée apparaissant typiquement chez les hommes (Tm), avec tout de même une occurrence chez les femmes. Dans l'expérience n°5, une voix aigüe-soufflée (tm) a également été produite par trois hommes, ainsi que par une femme. Ce type de voix correspond à la description du mécanisme 2 de phonation, dans lequel la vibration des plis vocaux est périodique mais leur contact est réduit.

Nous rappelons que toutes les occurrences de ces divers types de voix ont été sélectionnées pour les analyses suivantes lorsque les paramètres acoustiques de fréquence fondamentale (F0), associée à la hauteur vocale, d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2), associée à la qualité vocale, et le cas échéant de niveau de pression sonore (SPL), associé à l'intensité vocale, variaient de manière significative ($p < 0,01$) et grandement ($\eta^2 > 0,14$) dans les comparaisons intra-individuelles avec la production de voix usuelle.

Par ailleurs, dans l'expérience n°4, nous avons aussi étudié cinq occurrences de parole vocale basale ou *fr*γ (Fr), dans laquelle la vibration des plis vocaux est apériodique et leur contact grand, et 10 occurrences de parole chuchotée (Ch), dans laquelle il n'y a pas de vibration des plis vocaux. Ces deux types de parole nous ont permis de tester certaines mesures physiques de l'effort.

9.2.2. Evaluation de l'effort

Dans les deux expériences de production, nous avons testé la mesure de l'effort phonatoire proposée par Stepp, à savoir la fréquence fondamentale relative (RFF), et notre version adaptée de cette mesure (RFF_a). Nous avons aussi réalisé d'autres mesures physiques, acoustiques comme le taux de voisement (V%) ou aérodynamiques, permettant d'évaluer l'effort phonatoire, dans le but de valider notre indice. Nous précisons cependant que nous avons également adapté les mesures

aérodynamiques qui sont utilisées habituellement. En effet, nous avons estimé, d'une part, l'écart de résistance glottique (GR) entre les consonnes fricatives voisées et non voisées et, d'autre part, l'écart de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) entre les consonnes occlusives voisées et non voisées, à chaque fois produites dans le même train de syllabes, donc pendant la même expiration phonatoire. Ces estimations reposent sur le postulat d'une pression sous-glottique (SGP) constante pendant cette expiration, permettant la comparaison des pressions intra-orales (IOP) entre les consonnes. L'estimation de l'écart de ΔGP repose aussi sur le postulat d'une occlusion labiale parfaite lors de la production des consonnes occlusives, aussi bien voisées que non voisées.

Par ailleurs, dans l'expérience n°4, nous avons également réalisé des mesures physiologiques, aérodynamiques ou acoustiques dans le but d'évaluer l'effort articulaire. Notamment, nous avons mesuré la pression mécanique de contact (MCP) au niveau des articulateurs, grâce à un capteur d'environ deux millimètres de diamètre placé avec une technique empirique sur la lèvre inférieure. Cette mesure physiologique était censée permettre de mesurer aussi bien les consonnes occlusives /p, b/ que les consonnes fricatives /f, v/, bien que leurs points d'articulation labiale puissent être différents. Nous avons aussi mesuré la résistance articulaire (AR) pour les consonnes fricatives et les voyelles. Nous n'avons pas appliqué cette mesure aérodynamique aux consonnes occlusives car elle nécessitait un flux d'air trans-articulaire (TAF). Nous avons également mesuré les durées segmentales des différentes consonnes et des voyelles. Dans l'expérience n°4 toujours, nous avons comparé ces mesures acoustiques à des mesures de durées physiologiques et aérodynamiques.

9.2.2.1. Articulaire

Dans l'expérience n°4, la mesure physiologique de pression mécanique de contact (MCP) réalisée dans la production de parole en voix usuelle indiquait une force plus importante lors de l'articulation de la consonne occlusive non voisée /p/ par rapport à sa correspondante voisée /b/. Au contraire, cet indice de force articulaire était plus élevé pendant la réalisation de la consonne fricative voisée /v/ que pendant la réalisation de sa correspondante non voisée /f/. Nous observons, de plus, que la mesure aérodynamique de résistance articulaire (AR) était, elle aussi, plus élevée pendant la réalisation de la consonne fricative voisée /v/, par rapport à la non voisée /f/. Nous n'avons pas mesuré l'AR des consonnes occlusives, pendant la réalisation desquelles elle est supposée totale. Ces deux effets opposés du voisement ne variaient pas de manière significative

entre les productions de parole vocale, impliquant une vibration glottique, qu'elle soit apériodique (mécanisme 0 de phonation) ou périodique (mécanisme 1, voire mécanisme 2). Pourtant, l'effet observé pour les consonnes fricatives était inversé dans les productions de parole avec, non pas une vibration, mais une friction glottique (chuchotement).

Globalement, chez l'ensemble des 12 participants de l'expérience n°4, la pression mécanique de contact (MCP) était plus grande pour les types de voix forte-aigüe-pressée (F+) et faible-grave-soufflée (F-) que pour les types de voix faible-grave-pressée produite typiquement par les femmes (Tf) ou faible-aigüe-soufflée produite typiquement par les hommes (Tm), et pour ces dernières que pour la voix usuelle (Us). De plus, la MCP était plus grande pour la parole vocale basale ou *fry* (Fr) que pour la parole chuchotée (Ch), et pour cette dernière que pour la parole vocale modale usuelle (Us). En ce qui concerne la résistance articulatoire (AR), les résultats obtenus étaient légèrement différents. Pour les consonnes fricatives d'abord, chez les femmes, l'AR était plus grande pour la voix F+ que pour la voix Tf, pour celle-ci que pour la voix F-, et pour cette dernière que pour la voix usuelle (Us). Chez les hommes, l'AR des consonnes fricatives était plus grande pour les voix Tm et Us que pour les voix F+ et F-. Chez l'ensemble des participants, l'AR était plus grande pour la parole Fr que pour la parole Ch et la parole Us, comme c'était le cas pour la MCP, mais nous n'observons pas ici de différence entre les deux derniers types de parole (Ch et Us). Pour les voyelles, en revanche, l'AR était plus grande pour Fr que pour Us, et pour Us que pour Ch. Enfin, pour les voyelles, il n'existait pas de différence d'AR entre les différents types de voix chez les hommes et, chez les femmes, elle était plus élevée pour la voix Tf que pour les autres.

Par ailleurs, en ce qui concerne les durées segmentales, nous observons que, dans les deux expériences de production, celle des voyelles était plus longue chez les femmes que chez les hommes. De plus, dans l'expérience n°4, la durée des consonnes était aussi plus courte chez les femmes. Ces durées consonantiques étaient plus courtes pour les consonnes intervocaliques voisées que pour les non voisées, dans les deux expériences. Dans l'expérience n°4, ces résultats basés sur une segmentation acoustique, sont confirmés par les mesures de durée réalisées à partir de paramètres physiologiques, entre les deux pics de pression mécanique de contact (MCP) sur la lèvre inférieure, et aérodynamiques, entre les deux pics de débit du flux d'air trans-articulatoire (TAF). Toujours dans l'expérience n°4, ces trois mesures de durées fournissaient des résultats contradictoires dans les comparaisons des deux consonnes fricatives /f, v/ et des deux occlusives

/p, b/. Cependant, dans l'expérience n°5, qui portait sur six consonnes fricatives et six consonnes occlusives, la durée segmentale apparaissait tout de même plus longue pour les fricatives non voisées. Enfin, dans l'expérience n°5, dans laquelle les voyelles se situaient en position initiale ou finale, et non en position médiale comme dans l'expérience n°4, les durées segmentales étaient plus longues dans les items comportant une consonne voisée, par rapport aux items comportant une consonne non voisée, surtout pour les voyelles pré-consonantiques. De plus les voyelles post-consonantiques étaient plus longues que les voyelles pré-consonantiques et elles étaient aussi plus longues dans les structures syllabiques (#CV et VC#) que dans les structures dissyllabiques (VCV).

Dans l'expérience n°4, la durée des voyelles était allongée dans la parole vocale basale ou *fry* (Fr) et réduite dans la parole chuchotée (Ch), par rapport à la parole vocale modale usuelle (Us). La durée des consonnes, quant à elle, était plus courte dans la parole Fr que dans la parole Ch, et dans cette dernière que dans la parole Us. Toujours dans l'expérience n°4, chez les femmes, les voyelles étaient plus longues pour la voix faible-grave-soufflée (F-) que pour les voix forte-aigüe-pressée (F+) ou usuelle (Us), et pour ces dernières que pour la voix faible-grave-pressée (Tf), tandis que les consonnes étaient plus courtes pour la voix F+ que pour les voix F- et Us, et pour ces dernières que pour la voix Tf. Dans l'expérience n°5, nous constatons que les voyelles étaient plus courtes et les consonnes plus longues pour la voix aigüe-pressée (f+), par rapport à la voix Us. Dans l'expérience n°4, chez les hommes maintenant, les voyelles étaient plus longues pour les voix F- et Us que pour les voix F+ ou faible-aigüe-soufflée observées typiquement chez eux (Tm), alors que les consonnes étaient plus courtes pour la voix F+ que pour les trois autres types de voix. Dans l'expérience n°5, chez les hommes, les voyelles étaient plus longues pour la voix f+ que pour la voix aigüe-soufflée (tm), et pour cette dernière que pour la voix Us. Cependant, les consonnes étaient plus courtes pour les voix tm et Us que pour la voix f+. De plus, les effets du type de production (parole ou voix) sur les durées des consonnes étaient majoritairement plus importants pour les consonnes non voisées que pour les voisées.

9.2.2.2. Phonatoire

9.2.2.2.1. Indices de contrôle

Ici, nous présentons d'abord les résultats des indices aérodynamiques de l'effort phonatoire, utilisés dans l'expérience n°4. Pour les consonnes fricatives, en supposant la pression sous-

glottique (SGP) stable pendant la production d'un train de syllabes, nous avons calculé l'écart estimé de résistance glottique (GR), entre les consonnes non voisées et les voisées d'un même train, comme le rapport entre la différence de pression sus-glottique ou intra-orale (IOP) et la différence de débit du flux d'air oral ou trans-articulatoire (TAF). Pour les productions en voix modale, c'est-à-dire avec une vibration périodique des plis vocaux, nous n'avons pas obtenu de résultats statistiquement significatifs : l'écart estimé de GR variait entre 10 et 15 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) environ. Cependant, chez les hommes, il semblait plus grand dans les productions en voix forte-aigüe-pressée (F+ ; environ 15hPa/L/s) que dans les productions en voix usuelle (Us ; environ 10hPa/L/s) et, chez les femmes, il semblait plus grand pour les productions en voix Us (environ 15hPa/L/s) que pour les productions en voix faible-grave-soufflée (F- ; environ 10hPa/L/s). Ces résultats positifs suggéraient un rapprochement des plis vocaux plus important pour la consonne fricative voisée /v/ que pour la non voisée /f/. De plus, l'écart estimé de GR entre ces consonnes fricatives, voisée et non voisée, était significativement plus grand dans la parole vocale basale ou *fry* (Fr), pour laquelle la vibration des plis vocaux est aperiodique et leur contact important, avec une moyenne aux alentours de 30hPa/L/s, et plus petit, voire inversé, pour la parole chuchotée (Ch), c'est-à-dire avec un rapprochement mais sans vibration des plis vocaux, avec une moyenne d'environ [-5]hPa/L/s. Ce dernier résultat pour Ch suggérait un rapprochement des plis vocaux légèrement plus important pendant la production de la consonne fricative non voisée /f/ que de la voisée /v/.

Pour les consonnes occlusives, toujours en supposant la pression-sous-glottique (SGP) stable pendant la production d'un train de syllabes, mais aussi en supposant la fermeture labiale parfaite pendant l'articulation de ces consonnes, nous avons calculé l'écart estimé de différence de pression autour de la glotte (Δ GP), entre les consonnes voisées et non voisées d'un même train de syllabes, comme la différence de pression sus-glottique ou intra-orale (IOP). Ici, pour les diverses productions en voix modale, nous avons observé des variations significatives. L'écart de Δ GP égalait 2,2 hectopascals (hPa) dans la parole en voix usuelle (Us), sans grande différence entre les hommes et les femmes. Mais, pour tous les participants, il était plus grand pour la voix forte-aigüe-pressée (F+ ; entre 3 et 3,5hPa) et plus petit pour la voix faible-grave-soufflée (entre 1,5 et 1,8hPa). De plus, l'écart de Δ GP était plus petit (1,5hPa), pour la voix faible-grave-pressée typiquement observée chez les femmes (Tf) et la voix faible-aigüe-soufflée typiquement observée chez les

hommes (Tm). Il était également plus grand pour le *fry* (Fr ; environ 3hPa) et plus petit pour le chuchotement (Ch ; environ 0,7hPa).

Enfin, nous avons étudié un indice acoustique, pour des consonnes fricatives et occlusives en position intervocalique, c'est-à-dire toutes les consonnes de l'expérience n°4 mais seulement les consonnes au sein des structures dissyllabiques (VCV) dans l'expérience n°5. Il s'agissait du taux de voisement (V%) qui est, en théorie, plus important pour les consonnes voisées que pour les non voisées. Dans l'expérience n°5, pour l'ensemble des 12 consonnes, nous avons constaté un V% moyen de 92 pourcents (%) pendant la production des voisées et de 12% pendant la production des non voisées. Cependant, le V% apparaissait moins important pour les consonnes voisées postérieures /ʒ, ʒ/ (entre 75 et 80%). Dans l'expérience n°4, en revanche, le V% apparaissait moins important pour la consonne voisée occlusive /b/ (environ 40%) que pour la fricative /v/ (environ 90%). Par ailleurs, dans cette expérience n°4, chez les femmes, le V% était plus important pour la voix faible-grave-pressée (Tf) que pour les voix usuelle (Us) et forte-grave-pressée (F+), et pour ces dernières que pour la voix faible-grave-soufflée (F-). Chez les hommes, le V% était plus important pour les voix Us et F+ que pour les voix F- et faible-aigüe-soufflée (Tm). Dans l'expérience n°5, le V% était plus important pour la voix Us que pour la voix aigüe-pressée (f+). Ces effets concernaient notamment les consonnes voisées antérieures et médianes /v, b, z, d/.

9.2.2.2.2. Indices explorés

Dans les deux expériences de production, nous avons appliqué la mesure de la fréquence fondamentale relative originale proposée par Stepp (RFF) et une adaptation de cette mesure (RFF_a). Nous rappelons que la version originale de cet indice porte les écarts de fréquence instantanée (F_i) sur les dix cycles vibratoires à la terminaison des voyelles pré-consonantiques et à l'initiation des voyelles post-consonantiques, tandis que notre version adaptée de cet indice porte sur les écarts de fréquence fondamentale (F₀) moyennée sur environ trois cycles vibratoires au niveau du centre de gravité et de la terminaison ou de l'initiation des voyelles. En conséquence, les valeurs de RFF_a étaient toujours plus faibles que celles de RFF. De plus, nous indiquons que Stepp n'étudie que les consonnes non voisées et observe une RFF plus basse, à la terminaison comme à l'initiation des voyelles autour de la consonne, dans les cas où l'effort phonatoire est plus important. Dans la présente étude, nous pensions observer cet effet pour les consonnes non voisées à l'initiation des voyelles mais un effet inverse pour les consonnes voisées à la terminaison vocalique. De plus, avec

notre adaptation, nous pensions normaliser les mesures entre les participants qui présentaient des plis vocaux avec des qualités vibratoires différentes. Cependant, excepté à l'initiation vocalique dans l'expérience n°5, toutes les valeurs de RFF et RFF_a étaient significativement plus basses chez les hommes que chez les femmes. Toutes ces différences restaient tout de même inférieures aux trois quarts d'un demi-ton. Pour cette expérience n°5, qui portait sur les mêmes items que ceux étudiés dans les expériences de perception (n°1, n°2, n°3) et dans l'expérience clinique (n°6), nous illustrons les valeurs de RFF_a sur la Figure 81 pour les femmes et sur la Figure 82 pour les hommes.

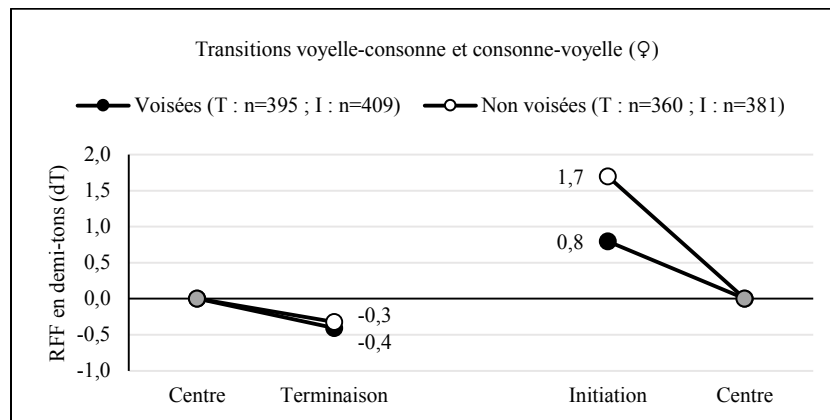


Figure 81 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez les 12 femmes de l'expérience n°5

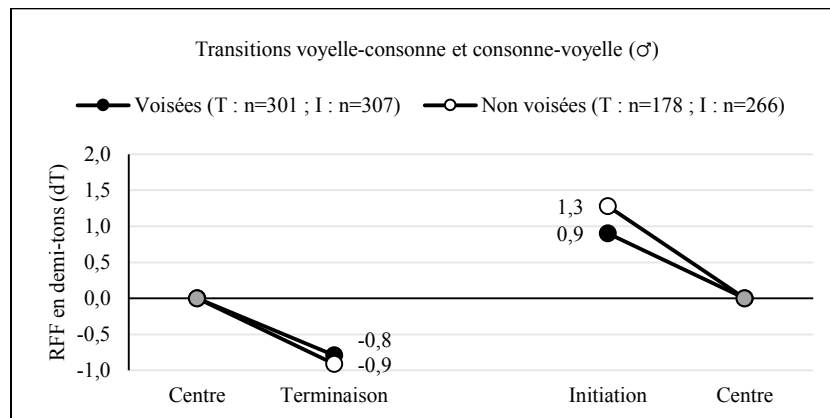


Figure 82 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez les 12 hommes de l'expérience n°5

Au niveau de la terminaison des voyelles pré-consonantiques tout d'abord, nous n'avons pas observé de différence significative entre les consonnes voisées et non voisées, si ce n'est pour la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) dans l'expérience n°4 avec une valeur légèrement plus basse dans le cas des voisées. En revanche, dans l'expérience n°5, nous avons observé que la

fréquence fondamentale relative originale (RFF) et la RFF_a étaient plus basses dans la structure dissyllabique (VCV) que dans la structure syllabique (VC#) et que cette différence entre les deux structures était plus importante pour les consonnes voisées. Par ailleurs, ces deux valeurs étaient plus basses devant les consonnes occlusives que devant les fricatives.

Toujours à la terminaison vocalique, dans l'expérience n°4, chez les femmes, les valeurs de fréquence fondamentale relative originale (RFF) et adaptée (RFF_a) étaient plus basses pour la voix forte-aigüe-pressée (F+) que pour la voix usuelle (Us) et il semblait que cet effet était plus grand pour les consonnes voisées ou pour les consonnes occlusives. Dans cette même expérience, chez les hommes, ces valeurs étaient plus basses pour la voix Us que pour la voix faible-grave-soufflée (F-) et il semblait que cet effet était aussi plus important pour les consonnes voisées et, au contraire, pour les consonnes fricatives. Dans l'expérience n°5, chez les hommes comme chez les femmes, les valeurs de RFF et de RFF_a étaient plus basses pour la voix forte-aigüe (f+) que pour la voix Us dans la structure VC# et inversement dans la structure VCV. De plus, chez les hommes, ces valeurs étaient plus basses pour la voix Us que pour la voix aigüe-soufflée (tm), notamment pour les consonnes non voisées. Cependant, toutes ces variations étaient inférieures au demi-ton.

Au niveau de l'initiation des voyelles post-consonantiques ensuite, dans les deux expériences, nous avons observé que la fréquence fondamentale relative, dans sa version originale (RFF) et dans sa version adaptée (RFF_a), était plus haute pour les consonnes non voisées que pour les consonnes voisées, d'environ un demi-ton, bien que l'écart soit réduit chez les hommes pour la RFF_a comme présenté sur la Figure 82. De plus, dans les deux expériences, pour les consonnes voisées, les valeurs semblaient plus hautes pour les occlusives que pour les fricatives. Dans l'expérience n°5, par ailleurs, nous n'avons pas observé de différence significative entre les structures syllabique (#CV) et dissyllabique (VCV).

Toujours à l'initiation vocalique, dans l'expérience n°4, chez les femmes, les valeurs de fréquence fondamentale relative originale (RFF) et adaptée (RFF_a) étaient, là encore, plus basses pour la voix forte-aigüe-pressée (F+) que pour la voix usuelle (Us) et il semblait que cet effet était plus important, ici, pour les consonnes non voisées. Dans cette même expérience, chez les hommes, ces valeurs étaient, là encore, plus basses pour la voix Us que pour la voix faible-grave-soufflée (F-) et il semblait, par contre, que cet effet était plus important pour les consonnes voisées. Dans l'expérience n°5, chez les hommes comme chez les femmes, les valeurs de RFF et de RFF_a étaient,

là encore, plus basses pour la voix forte-aigüe (f+) que pour la voix Us. Cet effet apparaissait plus important pour les consonnes non voisées que pour les voisées et aussi dans la structure syllabique (#CV) que dans la structure dissyllabique (VCV). Chez les femmes, l'effet semblait plus important pour les consonnes occlusives et pour les consonnes postérieures /ʃ, ʒ, k, g/. Chez les hommes, les valeurs de RFF et de RFF_a étaient plus hautes pour la voix Us que pour la voix aigüe-soufflée (tm).

9.3. Perception et production comparées

Dans les expériences menées auprès des sujets sains, notamment l'expérience n°1 avec la mesure du taux de perception de la difficulté de production des consonnes voisées et l'expérience n°5 avec la mesure physique acoustique de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a), nous comptons six individus, trois hommes et trois femmes, pour lesquels nous disposons des résultats pour les deux types de mesures. Ces deux expériences portaient sur les mêmes items formés avec les 12 consonnes orales du français /f, v, p, b, s, z, t, d, ʃ, ʒ, k, g/, associées à la voyelle orale ouverte /a/, dans des structures syllabiques et dissyllabiques simples (#CV, VC# et VCV). Cependant, les mesures perceptives et acoustiques n'ont pas été réalisées simultanément. Nous observons tout de même que ces participants, qui ont perçu davantage de difficulté de production pour les consonnes voisées, dans les paires les opposant à leurs correspondantes non voisées, présentaient des patterns de RFF_a assez semblables. Chez les trois femmes, le pattern correspondait aux résultats moyens obtenus chez les 12 participantes dans l'expérience n°5, présenté sur la Figure 81. Chez les deux hommes pour lesquels nous disposons de toutes les données, le pattern semblait légèrement différent de celui observé en moyenne chez les 12 participants de l'expérience n°5, présenté sur la Figure 82 : il n'existait pas de différence entre les consonnes voisées et non voisées à l'initiation de la voyelle post-consonantique.

Dans l'expérience clinique (n°6), chez les 15 patients, dont 12 femmes, nous avons obtenu la mesure de l'indice de perception et celle de la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) de manière simultanée. Parmi ces patients, nous constatons qu'une femme présentait un taux de perception de la difficulté de production des consonnes voisées, comparées aux non voisées, de 36 pourcents (%), dont la probabilité (p) est inférieure à 10% (p<0,1), avec des valeurs de RFF_a hautes, et largement plus hautes pour les consonnes non voisées que pour les consonnes voisées, à la terminaison comme à l'initiation des voyelles. De même, un homme présentait ce taux perceptif

bas (36%) mais avec, au contraire, des valeurs de RFF_a proches de zéro et semblables entre les consonnes voisées et non voisées. Par ailleurs, une femme a perçu davantage de difficulté pour produire les consonnes voisées, par rapport aux non voisées, dans plus de 64% des paires ($p < 0,1$) et quatre autres dans plus de 72% des paires ($p < 0,01$). Cependant, ces quatre dernières patientes ne présentaient pas les mêmes patterns de RFF_a , comme nous pouvons le voir sur la Figure 83. Nous notons aussi que les patients présentant des taux de perception de la difficulté assez bas avaient semblé peu investis dans la tâche ou difficilement canalisables.

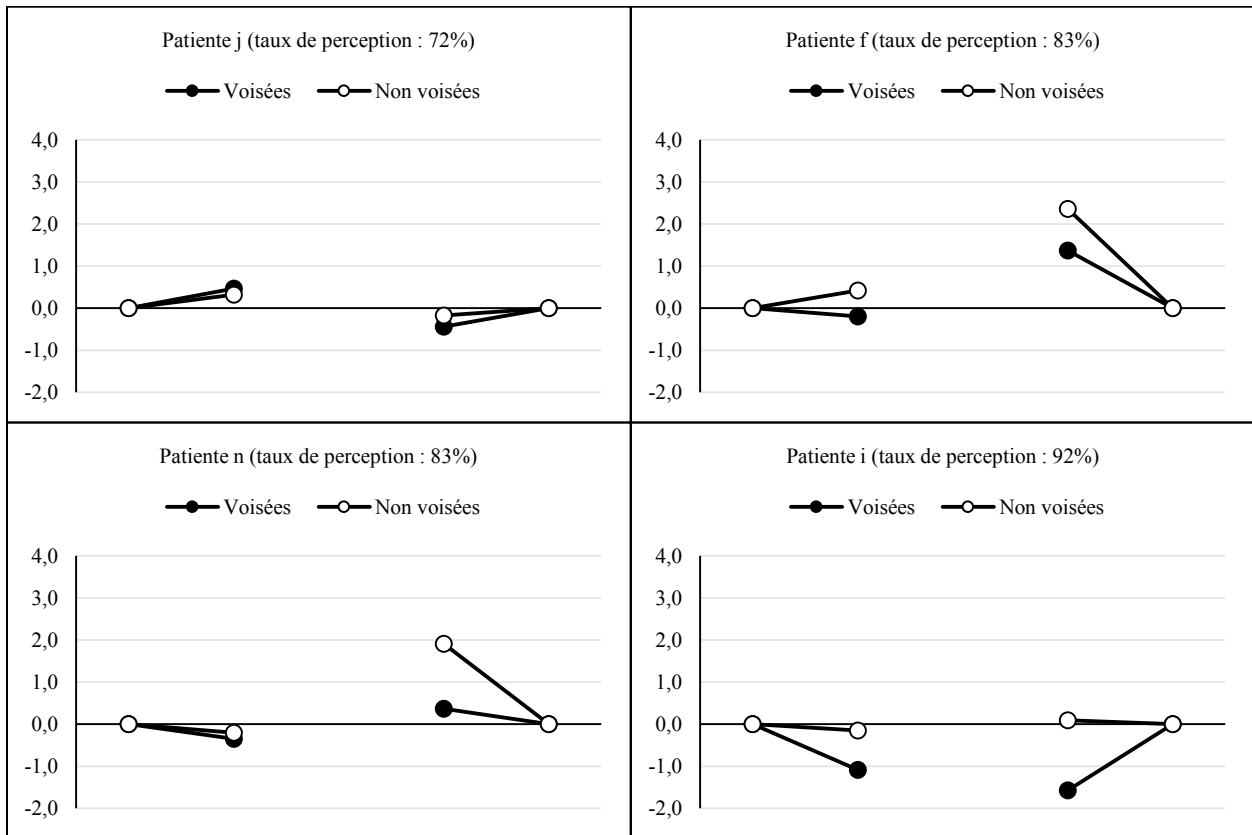


Figure 83 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez les quatre patientes présentant un taux de perception de la difficulté supérieur à 72%

10. Discussion

Dans cette thèse, nous avons cherché à caractériser l'effort phonatoire, par rapport à l'effort articulatoire et à la phonation elle-même, c'est-à-dire au résultat de la vibration des plis vocaux, et à en développer deux mesures complémentaires, l'une perceptive et l'autre acoustique. Pour cela, nous avons comparé entre elles des consonnes orales voisées et non voisées, présentant par ailleurs le même mode d'articulation et le même lieu articulatoire, au sein de structures syllabiques. Notre indice perceptif, le taux de difficulté perçu chez soi-même lors de la production d'items contenant les consonnes, correspondait à des valeurs plus hautes pour les voisées que pour les non voisées et ne différait pas entre les hommes et les femmes. En revanche, notre indice acoustique, la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a), mesurée sur trois cycles vibratoires environ, entre le centre de gravité et la terminaison de la voyelle pré-consonantique et entre l'initiation et le centre de la voyelle post-consonantique, correspondait à des valeurs plus basses pour les voisées que pour les non voisées, notamment à l'initiation vocalique, mais aussi chez les hommes que chez les femmes. Afin de valider ces mesures, nous avons pris en compte d'autres indices physiques (physiologiques, aérodynamiques et acoustiques) permettant d'évaluer la force articulatoire ou la force phonatoire. Pour tester la RFF_a , nous avons aussi cherché à éliciter des niveaux d'effort phonatoire différents. Avant d'évoquer les apports des expériences, nous souhaitons discuter des techniques employées.

10.1. Aspects méthodologiques

Sur le plan technique, dans les deux expériences de production (n°4 et n°5) menées auprès de sujets sains, nous avons mesuré divers indices physiques de l'effort phonatoire ou articulaire. Nous avons éprouvé ces indices dans différentes productions de parole vocale, modale mais aussi basale (*fry*), et dans la parole chuchotée. Dans les expériences de perception, nous avons également utilisé notre indice perceptif pour évaluer l'effort phonatoire ou articulaire dans la parole vocale modale et dans la parole chuchotée. De plus, nous avons testé l'indice perceptif dans la production de parole modale chez un autre locuteur, dans une tâche d'écoute. Enfin, pour les indices physiques, nous avons tenté d'induire des variations d'effort phonatoire dans la parole vocale modale. Nous discutons donc plus bas des méthodes employées et des autres variations engendrées.

10.1.1. Indices de l'effort

Dans la présente étude, parmi les indices de l'effort, qu'il soit phonatoire ou articulaire, nous remarquons que les indices perceptifs, physiologiques ou aérodynamiques ne différaient pas de manière significative entre les hommes et les femmes, tandis qu'il existait des différences pour les indices acoustiques. De plus, nous avons étudié les indices physiologiques et aérodynamiques uniquement dans l'expérience n°4 de production. Nous discutons donc ces résultats séparément.

10.1.1.1. Perceptifs, physiologiques et aérodynamiques

Dans les expériences de perception n°1, n°2 et n°3, nous avons réalisé une mesure perceptive consistant à indiquer, pour des items appariés, le plus difficile et le plus facile. Nous avons opposé les items en fonction du voisement de la consonne afin d'étudier l'effort phonatoire, mais aussi l'effort articulaire puisque l'articulation des consonnes non voisées est décrite comme réalisée avec plus de force que celle des voisées. Nous avons aussi opposé les items en fonction d'autres paramètres articulatoires comme le mode et le lieu, ou en fonction de leur structure syllabique. Ces trois expériences ont été réalisées en simple aveugle, c'est-à-dire que les participants n'en connaissaient pas le but. Ils n'ont pas non plus semblé comprendre les critères de formation des paires. Dans certains cas, cette incompréhension a pu engendrer un désintérêt pour la tâche.

Dans l'expérience n°4 de production, nous avons réalisé deux mesures physiologiques, mais nous avons exploité uniquement celle de la pression mécanique de contact (MCP) au niveau du point d'articulation des consonnes, sur la lèvre inférieure. Nous avons également réalisé deux mesures aérodynamiques directes : la pression sus-glottique ou intra-orale (IOP) et le débit du flux d'air oral ou trans-articulaire (TAF) simultané. A partir de ces deux mesures aérodynamiques, nous avons calculé divers indices de l'effort phonatoire ou de l'effort articulaire.

D'une part, nous avons calculé un indice de l'effort articulaire comme le rapport entre la pression intra-orale (IOP) et le débit du flux d'air oral (TAF) : la résistance articulaire (AR) des consonnes fricatives et des voyelles. Nous n'avons pas calculé l'AR pour les consonnes occlusives car nous postulons qu'elle était totale. Le risque d'erreur pour cet indice calculé à partir de deux mesures différentes est grand. En effet, dans le cas de l'IOP, mesurée avec une sonde semi-rigide placée dans la bouche et tenue entre les dents par le locuteur, des erreurs surviennent souvent : soit que le locuteur serre les dents et écrase la sonde, soit que de la salive entre dans cette sonde. En ce qui concerne le TAF, qui était mesuré avec un masque placé sur la bouche et tenu, là encore, par le locuteur lui-même en appuyant son visage contre la pièce à main du dispositif d'Evaluation Vocale Assistée (EVA II), des fuites d'air orales ont pu survenir. En revanche, nous avons évité les fuites d'air nasales en équipant tous les participants de l'expérience n°4 d'un pince-nez.

D'autre part, à partir des mesures aérodynamiques directes réalisées sur les consonnes, nous avons aussi estimé deux indices inédits de l'effort phonatoire. Il s'agissait de calculer des écarts entre les consonnes voisées et non voisées correspondantes au sein d'un même train de syllabes, produit sur une expiration phonatoire non interrompue. Ces estimations reposent, toutes les deux, sur le postulat d'une pression sous-glottique (SGP) constante pendant cette expiration phonatoire (McGlone & Shipp, 1972; Murry & Brown, Jr, 1971). D'un côté, pour les consonnes fricatives, nous avons estimé l'écart de résistance glottique (GR) en calculant la différence de pression sus-glottique (IOP) entre la consonne non voisée et la consonne voisée, puis en la rapportant à la différence de débit du flux d'air oral (TAF) entre les deux consonnes. Cet indice est donc basé sur, non pas deux, mais quatre mesures aérodynamiques différentes, ce qui augmente la marge d'erreur.

De l'autre côté, pour les consonnes occlusives, nous avons estimé l'écart de différence de pression autour de la glotte (Δ GP) en supposant encore la pression sous-glottique (SGP) constante et en calculant la différence de pression intra-orale (IOP) entre la consonne non voisée et la

consonne voisée. Si cet indice n'est basé que sur deux mesures aérodynamiques, il repose par contre sur un deuxième postulat : la fermeture labiale parfaite pendant la production des consonnes occlusives /p/ et /b/. Or, ces deux consonnes sont censées être produites avec des forces articulatoires différentes, la voisée étant décrite comme plus faible et présentant un signal obtenu par électromyographie (EMG) plus bas (Slis, 1971). Dans le cas de cette consonne voisée /b/, l'occlusion réalisée a pu être incomplète et l'IOP sous-estimée. De plus, même dans le cas de la consonne non voisée /p/, décrite comme plus forte sur le plan articulatoire, l'occlusion labiale peut être incomplète (Chapin et al., 2011).

A propos de ces indices aérodynamiques de l'effort phonatoire, nous souhaitons ajouter que, ne connaissant pas la pression sous-glottique (SGP) réelle, nous ne pouvons pas déterminer avec certitude si une augmentation de l'écart estimé, de résistance glottique (GR) pour les fricatives ou de différence de pression autour de la glotte (Δ GP) pour les occlusives, entre les deux consonnes est due à l'augmentation de la compression des plis vocaux pour la voisée ou à la diminution de cette compression pour la non voisée, voire à l'augmentation ou à la diminution de la compression pour les deux consonnes, mais avec des degrés différents.

Enfin, en ce qui concerne l'indice physiologique de l'effort articulatoire, à savoir la pression mécanique de contact (MCP), nous avons utilisé un unique capteur placé sur la lèvre inférieure de façon empirique, au début de l'expérience n°4 et pour chaque participant, afin d'obtenir un signal pour les consonnes occlusives /p, b/ et pour les fricatives /f, v/. Cependant, les consonnes occlusives que nous avons étudiées étaient bilabiales tandis que les fricatives étaient labiodentales. Il est donc possible que leur point d'articulation sur la lèvre inférieure soit légèrement différent et que notre capteur, large d'environ deux millimètres, n'ait pas été placé de façon optimale pour les unes ou pour les autres, voire pour toutes ces consonnes. Nous nous gardons donc de commenter les différences dues au mode articulatoire des quatre consonnes étudiées dans l'expérience n°4. De plus, le capteur était placé dans une gaine pour le protéger de la salive et il n'est pas impossible qu'il se soit déplacé entre deux enregistrements de parole ou au cours d'un même enregistrement.

10.1.1.1.1. Articulatoire

Au niveau articulatoire, nous avons d'abord relevé la pression mécanique de contact (MCP) sur la lèvre inférieure. Nous avons observé que, pour les consonnes fricatives comme pour les

occlusives, les valeurs de MCP étaient plus fortes dans la parole vocale basale ou *fry* (Fr) que dans la parole chuchotée (Ch), et dans la parole Ch que dans la parole vocale modale usuelle (Us). De même, la résistance articulaire (AR), pour les consonnes fricatives, était plus grande dans la parole Fr que dans la parole Ch, et dans cette dernière que dans la parole Us. Nous avons aussi constaté que ces effets étaient plus importants pour les consonnes non voisées /f, p/ que pour les voisées /v, b/. A notre sens, ce fait confirme qu'il s'agit davantage de variations articulatoires plutôt que de variations phonatoires. Nous notons que l'AR des voyelles /a/ était, quant à elle, plus petite pour la parole Fr et plus grande pour la parole Ch, par rapport à la parole Us, bien qu'elle ne dépassait pas 1 hectopascal par litre et par seconde (hPa/L/s) environ. Nous verrons qu'il existe des similitudes entre ces résultats et les durées segmentales des consonnes et des voyelles.

En comparant les expériences n°1 et n°2 qui incluaient davantage de consonnes différentes, nous avons constaté que le taux de perception de la difficulté de production des consonnes selon leur mode ou leur lieu articulaire présentait des variations plus extrêmes dans la parole chuchotée (Ch) que dans la parole usuelle (Us). Par exemple, le taux de perception de la difficulté pour les consonnes fricatives, par rapport aux occlusives, était plus grand dans la parole Ch, à environ 58 pourcents (%) que dans la parole Us (52%). De même, le taux de perception de la difficulté pour les consonnes postérieures, par rapport aux antérieures et aux médianes, était plus grand dans la parole Ch (67%) que dans la parole Us (63%). Le taux de perception de la difficulté pour les consonnes médianes non voisées était plus petit dans la parole Ch (32%) que dans la parole Us (40%). Ces résultats perceptifs viennent corrélérer les résultats physiques que nous venons de présenter, indiquant une plus grande force articulaire pour les consonnes, notamment non voisées, dans la parole Ch que dans la parole Us.

10.1.1.1.2. Phonatoire

Au niveau phonatoire, nous avons appliqué nos deux techniques d'estimation de l'écart entre les consonnes voisées et non voisées aux trois types de parole connus pour impliquer différentes configurations glottiques. Pour commencer, la parole vocale modale usuelle (Us) est produite dans le mécanisme 1 de phonation, c'est-à-dire avec une vibration périodique des plis vocaux. Dans ce cas, l'expiration contrôlée et la contraction modérée des muscles thyro-aryténoïdiens (TA) et crico-thyroïdiens (CT), qui permet d'accoler les plis vocaux, créent une différence de pression autour de la glotte (ΔGP) et, lorsque cette ΔGP dépasse un certain seuil phonatoire (PTP), entraînent la

vibration. Nous précisons que ce PTP minimal, mesuré de façon directe, correspond environ 1,5 hectopascals (hPa) en moyenne (Plant et al., 2004). Ensuite, la parole vocale basale ou *fry* (Fr) est produite dans le mécanisme 0 de phonation, c'est-à-dire avec une vibration apériodique des plis vocaux. Ce type de vibration est caractérisé par un contact très important des deux plis vocaux compressés par la contraction extrême des TA (Hollien et al., 1977; McGlone & Shipp, 1971). Enfin, la parole chuchotée est produite sans vibration des plis vocaux mais avec une friction d'air, permise par une légère constriction glottique. Cependant, cette constriction peut être plus ou moins large selon les individus et selon la consigne donnée pour la production (A. D. Rubin et al., 2006; Sundberg et al., 2010)

Nos deux indices aérodynamiques de l'effort phonatoire étaient plus élevés dans la parole réalisée avec le mécanisme 0 de phonation, *fry* (Fr), que dans la parole vocale modale usuelle (Us), et dans cette dernière que dans la parole chuchotée (Ch). L'écart estimé de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) entre la consonne occlusive voisée /b/ et sa correspondante non voisée /p/, dans la parole Us, avait une valeur moyenne (m) de 2,2 hectopascals (hPa). Cet écart ne variait pas de la même façon que les indices de l'effort articulatoire : il est plus important pour la parole Fr ($m=3,1\text{hPa}$), mais moins important pour la parole Ch. Pour cette dernière, la valeur moyenne ($m=0,7\text{hPa}$) était inférieure au seuil de pression phonatoire (PTP) minimal, et semblait donc prévenir la vibration des plis vocaux tout en permettant de produire une friction glottique. Nous notons que le seuil d'auto-perception d'une différence de pression intra-orale (IOP) est égal à 1hPa (Williams, Brown, Jr, Payne, Turner, & Wharton, 2001; Williams, Brown, Jr, & Turner, 1987).

L'écart estimé de résistance glottique (GR) entre la consonne fricative voisée /v/ et la non voisée /f/, dans la parole usuelle (Us), avait une valeur moyenne (m) de 12,7 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s). Ce résultat indique une GR plus importante pour la consonne fricative voisée /v/, bien que l'écart avec la consonne non voisée /f/ soit restreint. De plus, dans la littérature, la GR pendant la production des voyelles est estimée à 40hPa/L/s environ (Leeper, Jr & Graves, 1984). L'écart que nous avons estimé entre les consonnes voisées et non voisées suggère donc qu'il existe une GR positive pendant la production des deux consonnes. En tout cas, comme pour l'indice précédant, cet écart estimé de GR était plus important pour la parole vocale basale ou *fry* (Fr : $m=28,8\text{hPa/L/s}$) que pour la parole Us, et moins important pour la parole chuchotée (Ch : $m=-4,6\text{hPa/L/s}$). Pour cette dernière, la valeur moyenne est inversée, suggérant une GR plus

importante pour la consonne fricative non voisée /f/, mais nous y reviendrons. Nous verrons par ailleurs que les variations de l'écart estimé de GR dans les différents autres types de voix étudiés, étaient moindres, entre 10 et 15hPa/L/s, et n'apparaissaient pas statistiquement significatives.

En revanche, entre l'expérience n°1 réalisée en parole vocale usuelle (Us) et l'expérience n°2 en parole chuchotée (Ch), nous n'avons pas observé de différence du taux de perception de la difficulté de production des consonnes voisées, par rapport aux non voisées (61 et 60 pourcents).

10.1.1.2. Acoustiques

Tous les indices acoustiques que nous avons utilisés dans cette étude pour évaluer la force articulo-phonatoire variaient de manière significative entre les hommes et les femmes, que ce soit la durée des phonèmes, le taux de voisement (V%) ou la fréquence fondamentale relative, originale (RFF) et adaptée (RFF_a). Notamment, les femmes ont produit des voyelles plus longues dans les deux expériences de production (n°4 et n°5) et des consonnes intervocaliques plus courtes dans l'expérience n°5. Elles présentaient aussi un V% plus élevé et des RFF et RFF_a plus hautes. Ici, nous évoquons d'abord les résultats concernant les durées phonémiques que nous avons pu appliquer aux productions de parole vocale basale ou *fr* (Fr) et de parole chuchotée (Ch) et que nous attribuons à l'effort articulo-phonatoire. Ensuite, nous discutons des méthodes de mesure des indices de l'effort phonatoire, à savoir le V%, la RFF et la RFF_a dans la parole vocale usuelle (Us).

10.1.1.2.1. Articulo-phonatoire

Nous notons que, dans l'expérience n°4, les durées consonantiques mesurées à partir de notre segmentation manuelle du signal acoustique étaient fortement corrélées à celles mesurées à partir d'indices aérodynamiques ou physiologiques, respectivement entre les deux pics de débit du flux d'air trans-articulo-phonatoire (TAF) ou entre les deux pics de pression mécanique de contact (MCP). Ces résultats confirmaient la différence de durée largement décrite selon le voisement, plus longue pour les consonnes non voisées que pour les voisées (Malécot, 1969; Stathopoulos & Weismer, 1983). Cependant, ils étaient ambigus concernant la différence de durée décrite selon le mode articulo-phonatoire, supposée plus longue pour les consonnes fricatives que pour les occlusives (Bartkova & Sorin, 1987). En effet, la durée mesurée à partir des pics de TAF, pourtant caractéristiques des consonnes fricatives, était plus courte pour celles-ci (Shadle & Scully, 1995). Au contraire, la

durée segmentale ne variait pas selon le mode articulatoire, tandis que la durée mesurée à partir des pics de MCP était plus longue pour ces consonnes fricatives. Nous nous gardons donc de conclure à une différence entre les consonnes occlusives et fricatives, au niveau de leur durée.

Dans l'expérience n°4, la durée des consonnes, en général, était plus longue dans la parole usuelle (Us) que dans la parole chuchotée (Ch), et dans cette dernière que dans la parole vocale basale ou *fr*y (Fr). Par ailleurs, la durée des voyelles était plus longue dans la parole Fr que dans la parole Us, et dans cette dernière que dans la parole Ch. Ces résultats sont exactement en miroir de ceux observés pour les indices physiologiques et aérodynamiques de la force articulatoire, à savoir la pression mécanique de contact (MCP) des articulateurs pour toutes les consonnes et la résistance articulatoire (AR) pour les consonnes fricatives et les voyelles. Ceci nous amène à penser que la durée segmentale est un indice acoustique de l'effort articulatoire et que la diminution de la durée des consonnes, notamment, est corrélée à l'augmentation de la force articulatoire. Nous considérons ces variations pour l'ensemble des consonnes, entre différentes productions de parole, et nous ne concluons pas que, les durées consonantiques étant plus courtes chez les femmes et pour les consonnes voisées, celles-ci sont articulées avec plus d'effort.

10.1.1.2.2. Phonatoire

Dans les expériences de production, nous avons mesuré le taux de voisement (V%) des consonnes intervocaliques tout d'abord. Dans l'expérience n°4 portant sur des trains de syllabes, cette mesure concernait donc toutes les consonnes étudiées. En revanche, dans l'expérience n°5 portant sur des items de type syllabe consonne-voyelle (#CV) et voyelle-consonne (VC#) ou de type logatome voyelle-consonne-voyelle (VCV), la mesure du V% ne portait que sur ces derniers. Nous disposions donc d'un plus petit nombre de données dans l'expérience n°5. De plus, au sein de cette expérience n°5, nous disposions de moins de données pour le V% que pour la fréquence fondamentale relative, originale (RFF) ou adaptée (RFF_a), qui était mesurée dans tous les items.

Dans ces deux expériences, nous avons mesuré simultanément la fréquence fondamentale relative originale (RFF) proposée par Stepp et notre adaptation de cette mesure (RFF_a), au niveau de la terminaison des voyelles pré-consonantiques et au niveau de l'initiation des voyelles post-consonantiques (Stepp et al., 2012). Dans l'expérience n°4, nous avons donc réalisé toutes les mesures pour les consonnes antérieures tandis que, dans l'expérience n°5, nous avons mesuré la

RFF et la RFF_a seulement à la terminaison ou à l'initiation vocalique dans les structures de type syllabe indirecte (VC#) ou directe (#CV), mais pour toutes les consonnes. Nous remarquons tout d'abord que les valeurs obtenues pour la RFF et pour la RFF_a étaient corrélées, notamment à l'initiation vocalique et dans les trains de syllabes de l'expérience n°4, mais que les variations de la RFF_a étaient réduites, avec des valeurs environ deux fois plus petites que les valeurs de RFF. Nous souhaitions justement limiter ces variations avec notre adaptation de la mesure. Notamment, nous espérions effacer les différences interindividuelles en rapportant la valeur observée à la frontière consonantique au centre de la voyelle. Pourtant, comme nous l'avons mentionné plus haut, nous observions tout de même des différences, entre les hommes et les femmes en particulier. Il est cependant envisageable que les hommes, qui présentaient des valeurs de RFF et de RFF_a plus basses, produisent effectivement un plus grand effort phonatoire que les femmes.

Avec notre mesure adaptée (RFF_a), nous souhaitions éviter plusieurs autres écueils liés à la mesure de la fréquence fondamentale relative originale (RFF). Tout d'abord, cette mesure de RFF nécessite un minimum de 10 cycles vibratoires pendant la production de la voyelle. Or, chez les hommes dont la fréquence fondamentale (F0) est basse, chez les patients dysphoniques qui ont des difficultés à maintenir la vibration de leurs plis vocaux aux abords des consonnes non voisées, ou dans les structures présentant des durées vocaliques courtes (VCV), ce minimum peut ne pas être atteint. De plus, en analysant les cycles un à un, cette mesure originale est plus propice aux erreurs. Enfin, en ne considérant pas la F0 usuelle des locuteurs, elle était difficilement comparable entre eux. Nous avons donc proposé de mesurer cet indice entre la moyenne de trois cycles vibratoires de la voyelle, à la frontière consonantique, et la moyenne de F0 mesurée aussi sur une fenêtre de temps égale à trois fois et demi la durée d'un cycle moyen, au niveau du centre de gravité de la voyelle. Nous avons constaté que notre mesure posait un autre problème, celui de la détection de la F0, qui peut notamment être faussée chez les patients dysphoniques présentant une vibration apériodique des plis vocaux, qui entraîne une bitonalité, c'est-à-dire des sauts de fréquence d'une octave environ, soit 12 demi-tons (dT).

10.1.2. Elicitation de l'effort phonatoire

Nous présentons ici les différentes méthodes que nous avons utilisées dans les expériences de production (n°4 et n°5) afin de faire varier l'effort phonatoire chez les locuteurs et d'éprouver nos indices acoustiques, mais aussi les variations des indices physiques de l'effort articulaire. Dans ces deux expériences, nous avons sélectionné des types de voix récurrents, très différents des productions de voix usuelle dans les comparaisons intra-individuelles, mais nous les avons ensuite comparés de façon globale, notamment en ce qui concerne l'indice d'effort phonatoire testé : la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a). En effet, dans l'expérience n°4 par exemple, nous avons comparé, chez les six hommes et les six femmes, les six productions de voix usuelle (Us) à neuf productions de voix forte-aigüe-pressée (F+) sélectionnées. Il aurait été probablement plus informatif de réaliser, là encore, des comparaisons intra-individuelles. Nous notons que toutes les expériences, en perception ou en production, menées auprès des participants témoins duraient en général 30 minutes en moyenne. Elles impliquaient donc potentiellement un effort phonatoire.

10.1.2.1. Méthodes

Afin d'éprouver notre indice acoustique de l'effort phonatoire, la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a), nous avons tenté d'éliciter un tel comportement d'effort chez des sujets sains. Nous avons considéré que l'effort phonatoire était lié à la contraction des muscles laryngés intrinsèques et qu'il augmentait alors avec la compression des plis vocaux. Nous savions que la compression des plis vocaux entraînait une augmentation de leur vitesse et de leur amplitude de vibration, ainsi qu'une augmentation de leur contact. Nous savions également que les indices acoustiques de fréquence fondamentale (F_0), de niveau de pression sonore (SPL) et d'amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) dépendaient respectivement de cette vitesse, cette amplitude et ce contact pendant la vibration des plis vocaux. Nous nous sommes donc proposé, dans l'expérience n°4, de tester différentes consignes concernant la hauteur, l'intensité ou la qualité vocale afin de faire varier ces paramètres acoustiques. Observant que ces consignes entraînaient le plus souvent des variations des trois paramètres acoustiques, dans l'expérience n°5, nous avons alors utilisé la consigne paraissant la plus simple à respecter pour les locuteurs : modifier la hauteur vocale en produisant une voix plus aigüe que la voix usuelle. En effet, les locuteurs n'ont pas

systématiquement respecté les autres consignes, notamment celles concernant la qualité vocale (voix soufflée ou voix pressée), comme nous nous y attendions, mais aussi la consigne de produire une voix forte. Le problème dans ce cas nous semblait être le maintien de l'intensité au cours de la production. Pourtant, cette dernière était intéressante car elle permettait d'induire le plus souvent le même type de voix forte-aigüe-pressée (F+).

Nous nous attendions notamment à obtenir des productions de voix (F+) plus forte (SPL supérieur), plus aigüe (F0 supérieure) et plus pressée (H1-H2 inférieur) que la voix usuelle (Us) correspondant en théorie à un effort phonatoire supérieur ou, au contraire, des productions de voix (F-) plus faible, plus grave et plus soufflée, correspondant théoriquement à un effort phonatoire inférieur. Cependant, nous avons aussi obtenu d'autres types de voix et, typiquement chez les femmes, une voix plus faible et plus grave mais plus pressée (Tf) ou, typiquement chez les hommes, une voix plus faible et plus soufflée mais plus aigüe (Tm). Dans l'expérience n°5 pour laquelle nous n'avons pas pu contrôler l'intensité vocale en mesurant le SPL, nous avons observé des productions de voix (f+) plus aigüe et plus pressée, que nous avons considérées comme proches des productions de voix F+ de l'expérience n°4. Dans cette expérience n°5, nous avons aussi observé, de nouveau typiquement chez les hommes, des productions de voix (tm) plus aigüe et plus soufflée qui semblaient similaires aux productions de voix Tm de l'expérience n°4. Ce type de voix pourrait correspondre au mécanisme 2 de phonation dans lequel la vibration des plis vocaux est périodique mais la contraction des muscles crico-thyroïdiens (CT) est très forte et la vitesse de vibration des plis vocaux très rapide, mais l'amplitude de cette vibration et le contact des plis vocaux faibles. Ces productions de voix Tm et tm, modales mais non usuelles dans la parole vocale, ne nous paraissent donc pas adéquates pour l'étude de l'effort phonatoire.

Nous notons que le manque de contrôle du niveau de pression sonore (SPL) dans l'expérience n°5 était un problème. En effet, dans l'expérience n°4, chez les hommes, la voix forte-aigüe-pressée (F+), correspondant selon nous à un effort phonatoire dans le mécanisme 1 de phonation, et la voix faible-aigüe-soufflée (Tm), correspondant selon nous au mécanisme 2 de phonation, présentaient des valeurs de fréquence fondamentale (F0) similaires, 5 à 6 demi-tons (dT) supérieures à la voix usuelle (Us). Ce résultat n'est pas étonnant car, si le mécanisme 2 de phonation permet de produire une voix plus aigüe que le mécanisme 1, ces mécanismes peuvent cependant recouvrir tous deux une même plage de F0 (Raymond H Colton & Hollien, 1972). En

revanche, dans l'expérience n°5, la voix aigüe-pressée (f+), que nous pensions produite de la même façon que la voix F+ dans le mécanisme 1 de phonation, présentait des valeurs de F0 deux fois plus hautes que la voix aigüe-soufflée (tm), supposée produite dans le mécanisme 2, par rapport à la voix Us. A noter que, chez les femmes aussi, la voix f+ de l'expérience n°5 était bien plus haute que la voix Us (environ 10dT) alors que la différence entre les voix F+ et Us de l'expérience n°4 correspondait environ à 5dT. Les résultats obtenus dans l'expérience n°5, pour la voix f+ du moins et en particulier chez les hommes, nous paraissent donc peu fiables.

10.1.2.2. Variations de l'effort articulatoire

Dans l'expérience n°4, l'indice de force articulatoire pour les consonnes, qu'est la pression mécanique de contact (MCP) entre les articulateurs, était globalement plus haut pour les productions en voix forte-aigüe-pressée (F+) que pour celles en voix usuelle (Us), chez les hommes comme chez les femmes. De plus, la production de voix faible-grave-pressée typiquement féminine (Tf) se situait entre les deux. Cependant, les résultats étaient variables pour les productions de voix faible-grave-soufflée (F-) et faible-aigüe-soufflée typiquement produites par les hommes (Tm), probablement dans le mécanisme 2 de phonation. De même, la durée segmentale des consonnes était toujours plus courte pour les productions F+ que pour les productions Us, chez l'ensemble des participants. En revanche, elle était toujours plus longue pour la production Tf que pour la production Us, chez les femmes. Elle était aussi équivalente pour les productions Us et F-, chez l'ensemble des participants, alors que les résultats étaient variables pour la production Tm, chez les hommes. Enfin, la résistance articulatoire (AR) des consonnes fricatives était plus forte pour la production F+ que pour la production Us, chez les femmes notamment, mais l'effet n'était pas statistiquement significatif. De même, l'AR était plus forte pour la production Us que pour la production F- chez les hommes, mais l'effet n'était pas significatif. Il s'agissait de différences de l'ordre de 5 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s), trois à quatre fois plus faibles que celles observées entre les productions Us et *fry* ou Us et chuchotée, présentées précédemment. Par ailleurs, nous avons observé des durées vocaliques plus longues pour les productions F- que pour les productions Us, chez les hommes et chez les femmes. En revanche, ces voyelles médiales étaient d'une durée semblable entre les productions F+ et Us. Nous avons aussi observé des durées plus courtes pour les productions Tm chez les hommes ou pour les productions Tf chez les femmes,

par rapport à ces productions Us. Pour les productions particulières Tf chez les femmes, nous avons également constaté une forte AR pendant la réalisation des voyelles.

Dans l'expérience n°5, pour laquelle nous ne disposions pas de mesures physiologiques ou aérodynamiques, les durées consonantiques étaient aussi plus courtes pour la voix aigüe-pressée (f+) que pour la voix usuelle (Us), chez les femmes. Au contraire, la durée des consonnes était plus courte pour la voix Us, ou pour la voix aigüe-soufflée (tm), que pour la voix f+ chez les hommes. Dans les deux cas, les voyelles initiales et surtout finales, contrairement aux voyelles médiales étudiées dans l'expérience n°4, étaient plus longues pour la voix f+ que pour la voix Us.

La principale conclusion que nous pouvons tirer de ces résultats est que l'effort articuloire variait, par rapport à la parole en voix usuelle (Us), lorsque nous essayions de faire varier l'effort phonatoire. Notamment, l'effort articuloire semblait plus important pour les productions de voix que nous supposons liées à un effort phonatoire important, c'est-à-dire la voix forte-aigüe-pressée (F+) chez tous les participants de l'expérience n°4, ou la voix aigüe-pressée (f+) chez les femmes de l'expérience n°5, par rapport à la voix Us. Cet effet articuloire semblait aussi moins important pour la production de voix faible-grave-soufflée (F-) que nous supposons, quant à elle, liée à un effort phonatoire moins important. Ces variations d'effort articuloire, bien que gênantes pour l'interprétation des résultats concernant l'effort phonatoire, ne nous paraissent pas étonnantes. En effet, comme nous l'avons expliqué au début de notre manuscrit, la phonation implique un grand nombre de muscles et l'effort phonatoire est souvent lié à l'augmentation de l'activité physique globale (Primov-Fever et al., 2013). D'autres auteurs ont d'ailleurs observé une augmentation de la pression de la langue contre le palais pour les consonnes occlusives apico-alvéolaires voisées et non voisées, dans une tâche d'effort vocal (Leeper, Jr & Noll, 1972).

10.2. Apports des expériences

D'un point de vue pratique, nous avons appliqué nos deux mesures, perceptive et acoustique, à la voix usuelle (Us) notamment. Pour l'indice d'auto-perception de la difficulté de production des consonnes, nous avons aussi exploré la parole chuchotée et nous avons par ailleurs exploré la perception de la production chez un autre locuteur. Pour les deux indices que nous proposons, nous avons principalement étudié l'effet du voisement de la consonne, mais aussi de son mode

articulatoire et, le cas échéant, de son lieu articulatoire ou de sa structure syllabique. Nous avons aussi appliqué l'indice acoustique de fréquence fondamentale relative (RFF_a) à des voix contrôlées, en particulier la voix forte-aigüe-pressée (F+), que nous supposons produite avec davantage d'effort phonatoire, mais qui semblait aussi avoir été produite avec davantage d'effort articulatoire.

10.2.1. Productions usuelles

Nous avons considéré les productions comme usuelles lorsque nous n'avons pas donné de consigne particulière aux locuteurs, mise à part celle de « lire à haute voix » ou, pour la parole chuchotée, de « lire en chuchotant ». Cependant, les conditions expérimentales ont pu induire des productions inusuelles. Par exemple, dans l'expérience n°1 d'auto-perception, les participants devaient parler à voix haute mais pour eux-mêmes et ils ont alors pu produire une voix d'intensité plus faible que leur voix usuelle. À l'inverse, dans l'expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques, la présence du microphone sur pied devant eux a pu les inciter à parler avec une intensité vocale plus forte. Enfin, dans l'expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustique, la présence des capteurs et des sondes orales ou du masque buccal ont très probablement fait varier l'articulation de la parole, au moins. Notre notion de production usuelle est donc toute relative.

10.2.1.1. Effets du voisement

Nous avons émis l'hypothèse que la production des consonnes voisées requérait un effort plus important que celle des non voisées correspondantes, bien que ces dernières soient connues pour être produites avec davantage de force articulatoire, car ces consonnes voisées nécessitaient l'augmentation de l'activité des muscles laryngés en vue de maintenir la vibration des plis vocaux. Nous avons vérifié cette hypothèse de base pour nos deux indices : le taux de perception de la difficulté de production était plus grand et la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) était plus basse pour les consonnes voisées, par rapport aux consonnes non voisées, du moins chez les participants témoins et, pour l'indice acoustique, à l'initiation des voyelles post-consonantiques. Cependant, si les participants étaient bien naïfs, nous n'avons pas mené nos expériences en double aveugle et notre comportement face à eux a pu orienter leurs réponses dans les expériences de perception. De plus, juste avant l'expérience principale de perception (n°1), nous leur avons

demandé de compléter deux questionnaires de qualité de vie relatifs à la voix, qui ont pu focaliser leur attention sur ce paramètre.

10.2.1.1.1. Sujets sains

Dans l'expérience principale (n°1), qui comptait 96 participants, nous avons obtenu un taux d'auto-perception moyen de la difficulté de production des consonnes voisées, par rapport aux non voisées, égal à 61 pourcents (%), soit un score moyen de 22 sur 36 paires. Chez les 12 nouveaux participants de l'expérience n°2 en parole chuchotée, nous avons obtenu un taux similaire (60%) et chez les 12 nouveaux participants de l'expérience n°3 de perception dans la parole usuelle d'autrui, nous avons obtenu un taux égal à 59% correspondant à un score moyen de 21 sur 36 paires. Dans ces résultats, nous n'incluons pas les consonnes isolées pour lesquelles les taux de perception étaient plus élevés. Par ailleurs, les taux de perception étaient plus faibles dans le cas des 12 paires avec les structures dissyllabiques VCV, par rapport aux 24 paires avec des structures syllabiques #CV et VC#, comme nous l'expliquons en détail plus bas. Cependant, il semble que nous ayons dégagé une norme pour cet indice de perception. De plus, ce taux de perception aux alentours de 60% correspondait aux taux obtenus pour les consonnes apico-alvéolaires /s, z/ et /t, d/. Nous notons que le taux était plus haut pour les consonnes articulées en un point plus postérieur /ʃ, ʒ, k, g/. Pour les consonnes antérieures, un taux aux alentours de 60% était aussi obtenu pour les occlusives /p, b/ alors que ces résultats perceptifs étaient totalement inversés pour les fricatives /f, v/ : le taux de perception de la difficulté de production de la consonne voisée correspondait alors environ à 40%. Dans l'expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques, nous avons étudié plus particulièrement ces consonnes antérieures occlusives /p, b/ et fricatives /f, v/ et nous pouvons donc observer leurs différences grâce à divers indices de l'effort phonatoire ou articulaire.

En ce qui concerne les consonnes occlusives bilabiales /p, b/ tout d'abord, dans cette expérience n°4, au niveau articulaire, nous avons mesuré une pression mécanique de contact (MCP) entre les lèvres qui était supérieure en moyenne de 1 unité (u) pour la consonne non voisée /p/ en parole usuelle (Us). Au niveau phonatoire, toujours dans la parole Us, nous avons observé un écart estimé de différence de pression autour de la glotte (Δ GP) de 2,2 hectopascals (hPa). Ces résultats suggèrent que la constriction sus-glottique (articulaire) était plus forte pour la consonne occlusive non voisée /p/ mais que, au contraire, la constriction glottique (phonatoire) était plus

forte pour la voisée /b/. De plus, dans la parole chuchotée (Ch), pour laquelle le taux d'auto-perception de la difficulté était similaire, la MCP ne différaient pas entre les deux consonnes, indiquant une constriction sus-glottique équivalente, mais l'écart de ΔGP restait positif (0,7hPa), indiquant une constriction glottique toujours plus forte pour la consonne occlusive voisée /b/.

Toujours dans l'expérience n°4, le taux de voisement (V%) de la consonne occlusive voisée /b/ était bas, inférieur à 50 pourcents (%) chez les femmes et inférieur à 40% chez les hommes. Et l'indice de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a), de la même façon que sa version originale (RFF), présentait des valeurs égales à la terminaison des voyelles pré-consonantiques pour ces deux consonnes /p, b/, environ [-0,5] demi-tons (dT). En revanche, à l'initiation des voyelles post-consonantiques, la RFF_a présentait des valeurs plus basses pour la consonne voisée /b/, aux alentours de 0,0dT, que pour la consonne non voisée /p/, aux alentours de 1,0dT. Par ailleurs, dans l'expérience n°5 qui comportait les mêmes items que dans l'expérience n°1 de perception, pour la voix usuelle (Us), le taux de voisement (V%) de la consonne /b/ intervocalique (dans la structure VCV), était plus haut que dans l'expérience n°4, pour les hommes comme pour les femmes : supérieur à 90%. La RFF_a à la terminaison vocalique, dans les structures VCV, mais aussi VC#, était identique à celle observée dans l'expérience n°4 (environ [-0,5]dT). En revanche, dans cette expérience n°5, la RFF_a était plus haute à l'initiation vocalique pour les deux consonnes occlusives, aux alentours de 1,5dT pour la non voisée /p/ et, surtout, aux alentours de 1,0dT pour la voisée /b/. Ces résultats de l'expérience n°5, hommes et femmes confondus, sont illustrés par la Figure 84. Pour les six participants communs aux deux expériences, l'expérience n°1 de perception et l'expérience n°5 de production, qui présentaient un taux de perception de la difficulté de production des consonnes voisées élevé et ressentaient donc selon nous un effort phonatoire, nous observons bien ces patterns de RFF_a, quoi qu'avec une différence moindre entre les voisées et les non voisées à l'initiation vocalique chez les hommes.

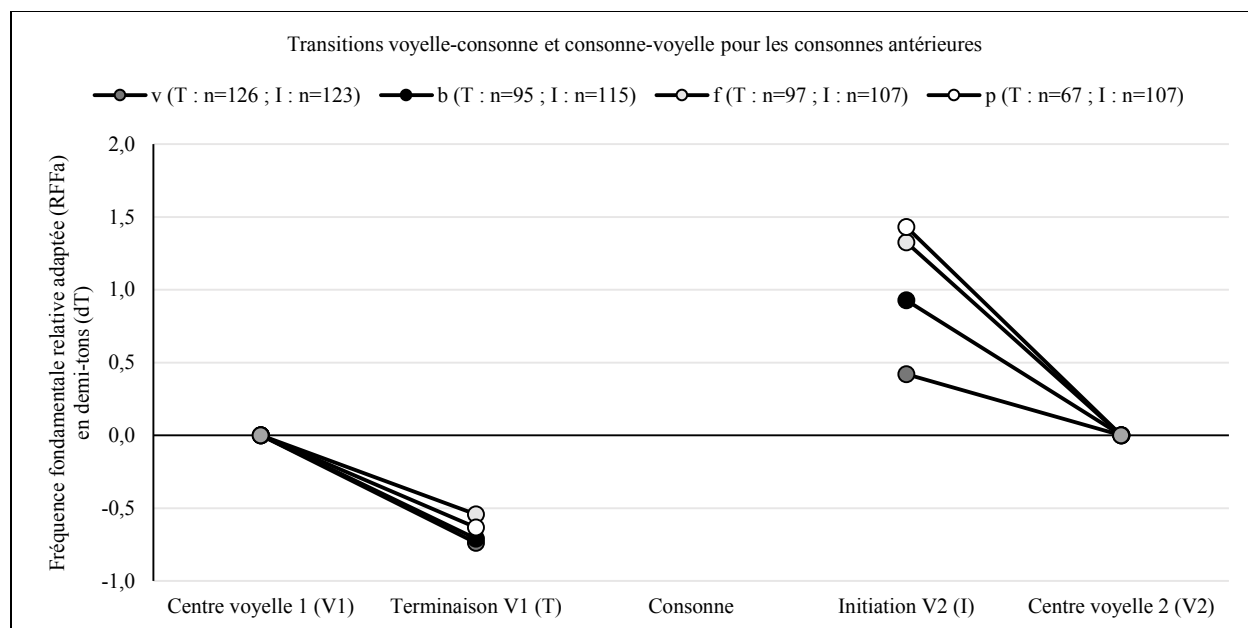


Figure 84 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes occlusives bilabiales et fricatives labiodentales, chez les 24 participants témoins de l'expérience n°5

En ce qui concerne les consonnes fricatives labiodentales /f, v/ ensuite, dans l'expérience n°4, au niveau articulaire, la pression mécanique de contact (MCP) sur la lèvre inférieure était supérieure, en moyenne de trois quart d'unité (u), et la résistance articulaire (AR) était plus forte, en moyenne de 3 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s), pour la consonne voisée /v/ en parole usuelle (Us). Au niveau phonatoire, l'écart estimé de résistance glottique (GR) équivalait à 13hPa/L/s. Ces résultats, contrairement à ce qui était attendu et d'ailleurs observé pour les consonnes occlusives, suggèrent une constriction sus-glottique (articulaire) plus forte et une constriction glottique (phonatoire) à peine plus forte pour la consonne fricative voisée /v/. De façon intéressante, dans la parole chuchotée (Ch), pour laquelle le taux d'auto-perception de la difficulté était similaire, c'est-à-dire plus bas pour la consonne fricative voisée /v/, la MCP et l'AR étaient là supérieures pour la non voisée /f/, respectivement d'environ 1,5u et 6hPa/L/s, tandis que l'écart estimé de GR était négatif, aux alentours de [-4,5]hPa/L/s. Ces résultats-ci suggèrent donc une constriction sus-glottique plus forte et une constriction glottique à peine plus forte pour la fricative non voisée /f/. En effet, nous avons observé que les variations d'AR inférieures à 5hPa/L/s n'apparaissent pas statistiquement significatives. Ces résultats nous semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle le taux de perception de la difficulté de production des consonnes

voisées, par rapport aux non voisées, est lié à la compression des plis vocaux, donc à l'effort phonatoire, mais également à la force articuloire.

Dans l'expérience n°4 comme dans l'expérience n°5, chez les hommes et les femmes, le taux de voisement (V%) de la consonne fricative voisée /v/ était supérieur à 90 pourcents (%). De plus, la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) à la terminaison des voyelles pré-consonantiques était semblable pour les deux consonnes fricatives et équivalait à celle observée pour les occlusives, aux alentours de [-0,5] demi-tons (dT). En revanche, dans l'expérience n°4, à l'initiation des voyelles post-consonantiques, la RFF_a était comparable pour la consonne fricative non voisée /f/ et pour l'occlusive /p/ (environ 1,0dT), mais elle était plus basse pour la fricative voisée /v/ (environ [-0,5]dT) que pour l'occlusive /b/ (environ 0,0dT). De même, dans l'expérience n°5, à l'initiation vocalique, la RFF_a était comparable entre les consonnes non voisées (environ 1,5dT) comme illustré sur la Figure 84, mais elle était de nouveau plus basse pour la fricative voisée /v/ (environ 0,5dT) que pour l'occlusive /b/ (environ 1,0dT). Dans cette expérience n°5, nous avons constaté le même phénomène entre les consonnes voisées fricatives et occlusives, pour les médianes /z, d/ et les postérieures /ʒ, g/. Il ne semble donc pas s'agir d'une spécificité de la fricative /v/, bien que l'écart de 0,5dT observé avec l'occlusive /b/ soit inférieur à l'écart observé entre les consonnes fricatives et occlusives pour les médianes ou les postérieures (0,75dT).

Le cas de la consonne fricative voisée /v/ est remarquable dans notre étude, à travers les différentes expériences de perception et de production. Ce cas apparaît aussi notable, par rapport à l'expérience de Parnell et Amerman, menée en anglais, dans laquelle la consonne /v/ avait été perçue comme plus difficile à produire que la consonne correspondante non voisée /f/ (Parnell & Amerman, 1977). Pourtant, en français, une étude avait pointé le fait que la consonne /v/ était la plus souvent omise en parole spontanée (Adda-Decker, Boula de Mareüil, Adda, & Lamel, 2005). Nous notons que, dans notre expérience de perception, cette consonne a aussi été comparée à l'occlusive /b/ (mode articuloire) et aux consonnes fricatives /z, ʒ/ (lieu articuloire). Pour l'ensemble de ces consonnes, Parnell et Amerman avaient observé l'ordre /b, z, f, v, ʒ/, de la plus facile à la plus difficile à produire, tandis que, dans toutes nos expériences, la consonne orale /v/ du français apparaît toujours plus facile à produire que les quatre autres.

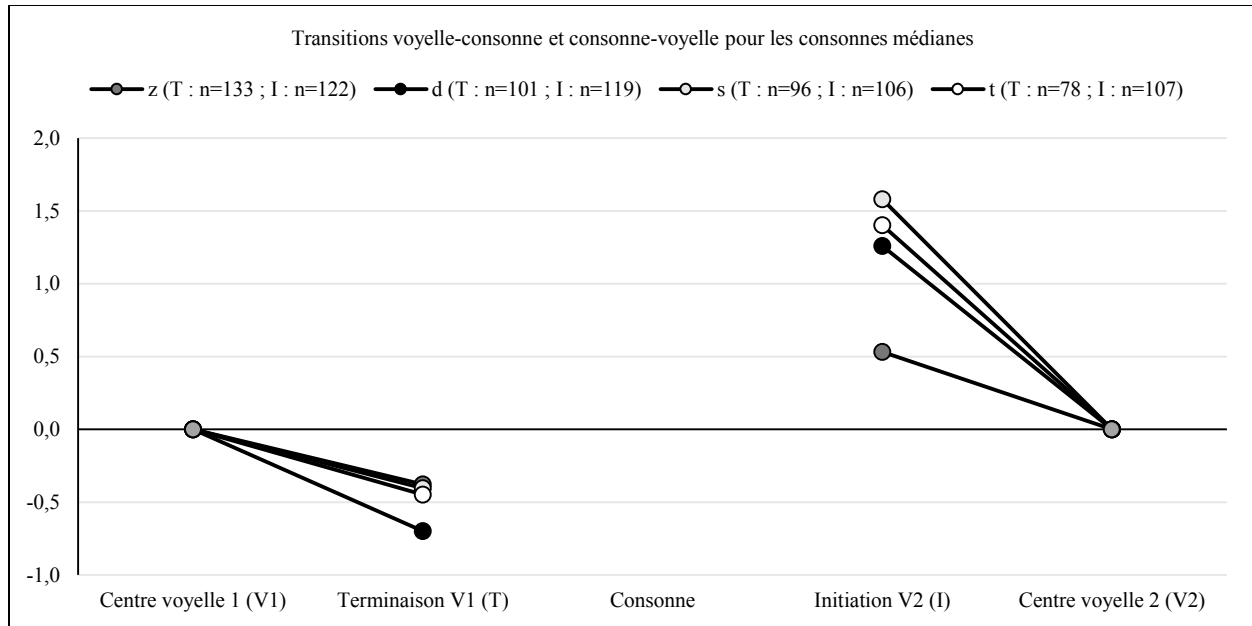


Figure 85 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes occlusives et fricatives apico-alvéolaires, chez les 24 participants témoins de l'expérience n°5

Par ailleurs, dans l'expérience principale de perception (n°1), nous n'avons pas observé d'interaction du mode articulaire, du moins pour les consonnes présentant le même point d'articulation apico-alvéolaire /s, z, t, d/, sur l'effet du voisement. De plus, le taux de voisement (V%) des consonnes /z, d/ était équivalent et supérieur à 90 pourcents (%) dans l'expérience n°5 de production, quoi que légèrement plus faible pour la consonne occlusive /d/ chez les femmes. Pourtant, la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) était légèrement plus haute à la terminaison de la voyelle précédant la consonne fricative /z/ et plus basse à l'initiation de la voyelle suivante, comme nous pouvons le voir sur la Figure 85. D'après notre théorie, ces résultats suggèrent un effort phonatoire plus important pour la consonne fricative voisée /z/ que pour l'occlusive /d/ ou pour les consonnes apico-alvéolaires non voisées. Si cette interaction du mode articulaire et du voisement, observée dans l'expérience n°5 de production, n'apparaît pas dans l'expérience n°1 de perception, ce peut être simplement parce qu'elles n'ont pas été menées en même temps et sur exactement les mêmes participants. Dans tous les cas, ces résultats remettent en cause notre hypothèse selon laquelle il est plus difficile de faire vibrer les plis vocaux pendant la production d'une consonne occlusive que pendant la production d'une fricative.

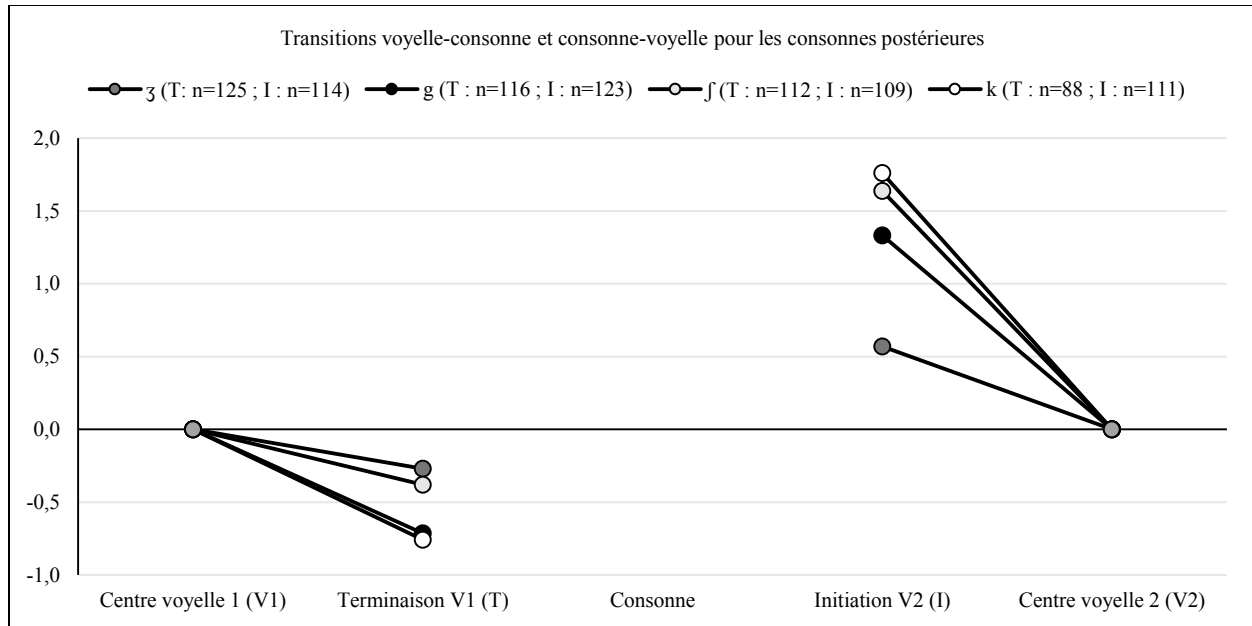


Figure 86 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes occlusives dorso-vélaïres et fricatives apico-post-alvéolaires, chez les 24 participants témoins de l'expérience n°5

De plus, dans l'expérience n°1, la perception de la difficulté de production des consonnes voisées était plus grande pour les consonnes postérieures /ʒ, ʃ, g, k/ que pour les médianes, et pour ces dernières que pour les antérieures. Dans l'expérience n°5, les taux de voisement (V%) des consonnes postérieures /ʒ, g/ se situaient entre 70 et 80 pourcents (%) et étaient donc inférieurs aux V% des autres consonnes voisées. Cependant, sur la Figure 86, nous n'observons pas un pattern de RFF_a particulier pour ces deux consonnes postérieures. Nous notons seulement que la RFF_a à la terminaison des voyelles précédant les consonnes fricatives /ʒ, ʃ/ est plus haute que pour les occlusives /g, k/. Cela pourrait correspondre à un effort de production plus grand pour ces consonnes fricatives postérieures, mais cela peut aussi être dû à des différences de segmentation manuelle, qui est plus ardue pour les fricatives.

En résumé, dans nos expériences, le taux de perception de la difficulté de production et la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) semblaient indiquer, tous deux, un effort phonatoire plus important dans la production des consonnes voisées, par rapport aux non voisées. Pour le premier indice, perceptif, l'effet du voisement semblait plus important pour les consonnes postérieures que pour les antérieures, comme nous en avons fait l'hypothèse. Pour le deuxième indice, acoustique, l'effet du voisement semblait plus important pour les consonnes fricatives que

pour les occlusives. Cette dernière observation, quant à elle, va à l'encontre de l'hypothèse que nous avons formulée.

Enfin, comme nous l'avons évoqué plus tôt, l'effet du voisement sur l'auto-perception de la difficulté de production pour les consonnes voisées, par rapport aux non voisées correspondantes, était plus important dans les syllabes simples directes #CV, avec un taux de 64 pourcents (%), soit un score moyen de 23 sur 36 paires, et une probabilité (p) inférieure à 10% ($p < 0,1$) que dans les syllabes indirectes VC# (62%, soit un score moyen de 22 sur 36 paires), mais aussi dans ces deux structures syllabiques que dans les logatomes dissyllabiques simples VCV (58%, soit un score moyen de 21 sur 36 paires). Il se pourrait que les locuteurs aient perçu une difficulté pour arrêter et initier de nouveau la vibration des plis vocaux lors de la production d'une consonne non voisée dans la structure VCV. Cependant, la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) à la terminaison vocalique était plus basse dans cette structure VCV que dans la structure VC#, notamment pour les consonnes non voisées, mais aussi dans une moindre mesure pour les fricatives voisées. Ce résultat semblait donc indiquer au contraire une production plus facile de ces consonnes dans la structure VCV que dans la structure VC#. Cependant, nous remarquons une durée vocalique particulièrement longue dans la structure VC# comportant des consonnes fricatives voisées. La difficulté de segmentation de ces consonnes fricatives à partir du signal acoustique a pu entraîner des erreurs se répercutant ensuite sur la mesure de la RFF_a à la frontière consonantique. La RFF_a à l'initiation vocalique était, quant à elle, plus basse dans la structure #CV que dans la structure VCV, pour les consonnes voisées, mais aussi pour les non voisées chez les hommes. D'après notre idée du fonctionnement de cet indice acoustique, il semblerait donc que l'effort pour initier la vibration des plis vocaux après les consonnes non voisées, chez les hommes du moins, soit moins important dans la structure VCV que dans la structure #CV.

Nous remarquons ici que les modifications de la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) concernent les consonnes voisées et les consonnes non voisées, aussi bien à la terminaison qu'à l'initiation vocalique. Nous observerons plus loin que cela est aussi valable dans les productions de voix impliquant des variations d'effort phonatoire. De plus la RFF_a semble varier surtout à l'initiation vocalique. Le taux d'effort perçu pour les consonnes voisées étant par ailleurs plus grand pour la structure #CV, nous pourrions n'utiliser que cette structure #CV, qui présente l'avantage de contenir une voyelle longue donc permet une mesure aisée de l'indice acoustique.

Bien que la différence de RFF_a entre les consonnes voisées et non voisées à l'initiation de la voyelle post-consonantique semble plus grande pour les fricatives, nous pourrions n'utiliser aussi que les consonnes occlusives qui présentent l'avantage d'être facilement segmentées à partir du signal acoustique. Enfin, nous notons que pour obtenir des taux de perception de l'effort de 61 à 64 pourcents (%) qui soient statistiquement significatifs au niveau intra-individuel, il faudrait utiliser 108 paires d'items avec une opposition de voisement entre les consonnes. Un tel nombre de paires nous procurerait aussi deux fois plus de données acoustiques que celles obtenues dans l'expérience n°5 pour chaque participant.

10.2.1.1.2. Patients dysphoniques

Chez les patients dysphoniques, pour qui nous avons mesuré les deux indices simultanément, nous n'avons pas trouvé de pattern de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) associé à un taux de perception de la difficulté de production des consonnes voisées élevé. D'ailleurs, à part certains cas, la plupart des patients ne percevaient pas cette difficulté. Nous avons observé que certains d'entre eux n'étaient pas impliqués dans la tâche, notamment les patients peu à l'écoute de l'orthophoniste et du personnel médical de l'hôpital en général.

Dans son étude sur la perception de l'effort phonatoire, Ford Baldner suggère que cette perception relève d'une capacité individuelle de conscience de ses sensations internes et qu'elle varie donc d'un individu à l'autre et, chez un même individu, d'une session à l'autre (Ford Baldner et al., 2015). Les patients souffrant d'un trouble de la voix pourraient effectivement manquer de cette capacité de perception de l'effort phonatoire, ce qui les entrainerait à dépasser leurs limites physiologiques pendant la phonation. En extrapolant, nous pourrions penser que c'est justement du fait de ce manque de perception que s'installe le cercle vicieux de l'effort phonatoire que nous tentons d'enrayer dans la rééducation orthophonique.

Comme nous l'avons décrit, pour s'assurer d'un effet significatif dans le test de perception de l'effort phonatoire, il faudrait utiliser 108 paires d'items avec une opposition de consonne selon le voisement, soit 2,25 fois plus que le nombre de paires (36 paires étudiées et 12 distracteurs) proposées aux patients dans notre expérience clinique (n°6), qui durait déjà en moyenne 3 minutes et 45 secondes. Comme nous l'avons mentionné, l'utilisation de 108 paires d'items permettrait aussi d'obtenir un grand nombre de données acoustiques, ici quatre fois plus que dans l'expérience

clinique. Cependant, l'évaluation des patients doit respecter un certain nombre de règles d'éthique et, en particulier, être utile et ne pas causer de mal, comme de la fatigue vocale par exemple (Powell, 2007). Or, d'une part, nous n'avons pas encore prouvé l'utilité des deux indices de l'effort phonatoire que nous avons développés dans cette étude et, d'autre part, l'utilisation de 108 paires d'items pourrait induire davantage de fatigue vocale chez ces individus qui en souffrent déjà.

10.2.1.2. Effets du mode et du lieu articulatoire

Dans les expériences de perception, nous avons aussi exploré les variations de mode et de lieu articulatoire des consonnes dans des paires d'item dédiées. D'abord, pour les consonnes présentant exactement le même lieu articulatoire apico-alvéolaire /s, z, t, d/, dans l'expérience n°1, les participants témoins ont perçu davantage de difficulté de production pour les fricatives, dans 55% des paires. Cet effet était notamment plus élevé, de l'ordre de 60%, chez les femmes. Il était aussi plus élevé, de l'ordre de 61% dans les structures VCV. Nous ne disposons d'aucun indice pour interpréter ces variations, si ce n'est que la RFF_a était plus haute à la terminaison et plus basse à l'initiation vocalique pour la fricative voisée /z/ que pour l'occlusive /d/, comme illustré par la Figure 85. Pourtant, l'effet du mode articulatoire sur l'indice perceptif ne variait pas en fonction du voisement de la consonne.

En ce qui concerne les oppositions portant sur le lieu articulatoire des consonnes, dans toutes les expériences de perception, nous avons observé un taux de perception de la difficulté de production plus important pour les postérieures, et notamment pour les occlusives. Ces résultats sont contraires à certains de ceux obtenus par Parnell et Amerman dans leur étude de l'effort articulatoire en anglais, entre les consonnes antérieures et les postérieures notamment (Parnell & Amerman, 1977). En effet, ils ont observé, pour les occlusives, que les antérieures /b/ et /p/ étaient perçues comme plus difficiles à produire que les postérieures correspondantes /g/ et /k/. Cependant, ils observaient bien que les consonnes fricatives postérieures /ʒ/ et /ʃ/ étaient perçues comme plus difficiles à produire que les antérieures correspondantes /v/ et /f/, alors que nous avons observé en français un comportement particulier pour ces fricatives labiodentale /v, f/. Dans notre étude, en comparaison avec les résultats de Parnell et Amerman, nous observons que la consonne fricative antérieure /f/ a été perçue comme plus difficile à produire que sa correspondante postérieure /ʃ/. Nous rappelons tout de même que ces auteurs opposaient systématiquement toutes les consonnes

entre elles alors que, dans nos expériences, nous avons opposé chaque consonne étudiée à seulement quatre autres en fonction du voisement (une), du mode (une) ou du lieu (deux).

De plus, nous avons aussi observé un taux de perception de la difficulté plus important pour les consonnes médianes (apico-alvéolaires), par rapport aux antérieures (labiales), lorsqu'elles étaient voisées. De même, l'effet du lieu articuloire pour les consonnes postérieures était plus grand lorsque celles-ci étaient voisées. Dans l'expérience n°5 de production, qui nous le rappelons encore une fois n'a pas eu lieu de manière simultanée ni avec exactement les mêmes participants que l'expérience n°1, nous observons un taux de voisement (V%) pour les consonnes en position intervocalique, c'est-à-dire dans la structure VCV, plus bas pour toutes les consonnes postérieures, c'est-à-dire inférieure à 80 pourcents (%), et aussi, chez les femmes, pour les occlusives médianes (inférieur à 90%). La perception de la difficulté de production liée au lieu articuloire des consonnes voisées pourrait donc être en lien avec l'effort phonatoire ressenti.

Pour terminer, nous souhaitons préciser que dans les oppositions de consonnes en fonction du mode ou du lieu articuloire, dans les deux épreuves de perception impliquant la lecture (n°1 et n°2), nous avons parfois opposé des consonnes transcrites avec des symboles phonétiques facilement déchiffrables par des participants naïfs et d'autres qui étaient particuliers : /ʃ, ʒ/. Nous remarquons à ce propos que ces deux consonnes étaient plus souvent perçues comme plus difficiles. Au contraire, dans l'expérience n°3 impliquant l'écoute des items, ces deux consonnes ont moins souvent été perçues comme difficiles. Nos résultats dans les épreuves d'auto-perception ont donc pu être biaisés par le code graphique qui entraînait une complexité linguistique plus importante pour les consonnes fricatives apico-post-alvéolaires /ʃ, ʒ/.

10.2.1.3. Effets de la structure syllabique

Enfin, dans la plupart des expériences, nous avons utilisé différentes structures d'items : des syllabes simples directes (#CV) et indirectes (VC#) ou des logatomes dissyllabiques simples (VCV). Dans les expériences de perception, nous avons donc examiné des comparaisons de structures. Dans les deux expériences menées en parole modale (n°1 et n°3), nous avons aussi étudié les consonnes isolées (#C#). Sans surprise, les consonnes isolées ont toujours été perçues comme les plus difficiles à produire, dans plus de 80 pourcents (%) des paires en auto-perception et plus de 90% des paires en hétéro-perception, notamment chez les nouveaux participants. Ce

dernier résultat est étonnant car nous nous attendions à une diminution de l'effet pour ces consonnes isolées lorsque les locuteurs n'avaient pas à les lire eux-mêmes. Cependant, écouter des consonnes isolées peut aussi apparaître inhabituel car, par défaut, la syllabe est l'unité perceptive minimale (Sendlmeier, 1995). Nous notons tout de même que cet effet observé pour les consonnes isolées était bien moindre pour les fricatives non voisées /f, s, ʃ/, qui ne nous semblent effectivement pas difficiles à produire isolément.

Ensuite, la syllabe indirecte VC# a souvent été perçue comme plus difficile à produire que la syllabe directe #CV ou le logatome VCV qui peut également être découpé en syllabes directes (De Jong, 2004). Il se trouve que les syllabes de forme consonne-voyelle (CV), ou consonne-voyelle-consonne (CVC), sont des structures assez prototypiques, notamment en français (Adda-Decker et al., 2005; Browman & Goldstein, 1988; Fallows, 1981; Krakow, 1999). Par ailleurs, nous avons remarqué que la structure #CV étaient perçue comme plus facile à produire que la structure VCV dans les deux tâches de lecture (expériences n°1 et n°2) tandis que la structure VCV était perçue comme plus facile à produire que la structure #CV dans la tâche d'écoute (expérience n°3). Nous attribuons cet effet à la tâche de lecture au nombre de graphèmes plus petit pour la structure #CV (deux) que pour la structure VCV (trois). Cependant, dans l'expérience n°1, le taux de perception de la difficulté de production pour la structure #CV était très bas, à 27 pourcents (%), et ce taux pour la structure VCV était plus haut (41%), quand elles comportaient une consonne non voisée. Au contraire, les taux de perception de la difficulté de production des structures #CV et VCV étaient semblables (de 33 à 34%) lorsque les deux structures comportaient une consonne voisée. Par ailleurs, le taux de perception de la difficulté de production de la structure VC#, demeurait inchangé entre les consonnes voisées et non voisées (82%). Nous notons, de plus, que la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) à l'initiation vocalique était plus basse pour la structure #CV que pour la structure VCV, indiquant un effort supérieur, dans le cas des consonnes voisées et, au contraire, plus basse pour la structure VCV que pour la structure #CV dans le cas des non voisées chez les femmes.

10.2.2. Productions avec plus ou moins d'effort

Nous avons vu plus haut que, dans l'expérience n°4, les productions de voix contrôlées au niveau de l'intensité, la hauteur ou la qualité présentaient des variations de force articulatoire par

rapport à la voix usuelle (Us). En particulier, la voix forte-aigüe-pressée (F+) impliquait de façon probable davantage d'effort articulatoire que la voix Us tandis que la voix faible-grave-soufflée (F-) en impliquait moins. Les résultats concernant les variations d'effort phonatoire sont donc à prendre avec précaution. Par ailleurs, les productions de voix forte-pressée (f+) de l'expérience n°5, chez les hommes, ne variaient pas de la même façon que les productions de voix F+ de l'expérience n°4. Chez les femmes, les productions de voix f+ de l'expérience n°5 étaient plus nombreuses et, même si elles présentaient une fréquence fondamentale (F0) anormalement élevée, elles peuvent être intéressantes à discuter car elles variaient de la même façon que les productions de voix F+ de l'expérience n°4.

Dans l'expérience n°4, nous observons que l'écart estimé de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) pour les consonnes occlusives était supérieur, aux alentours de 3 hectopascals (hPa) comme pour les productions dans le mécanisme 0 (basal) de phonation, dans la voix forte-aigüe-pressée (F+) que dans la voix usuelle (Us), et dans celle-ci que dans la voix faible-grave-soufflée (F-). Pour cette dernière l'écart estimé de ΔGP correspondait en moyenne à 1,5hPa et se trouvait donc à la limite du seuil de pression phonatoire (PTP) minimal observé avec une mesure aérodynamique directe (Plant et al., 2004). Par ailleurs, l'écart estimé de résistance glottique (GR) pour les consonnes fricatives était plus grand, aux alentours de 15 hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) contre 10hPa/L/s, pour la voix F+ que pour la voix Us chez les hommes et pour la voix Us que pour la voix F- chez les femmes. Cependant, les différences observées, de l'ordre de 5hPa/L/s, n'étaient pas significatives. Nous rappelons aussi que ces mesures d'écart entre les consonnes voisées et non voisées ne permettaient pas de savoir si la compression glottique augmentait seulement pour la consonne voisée. D'après les résultats obtenus avec l'indice acoustique de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a), qui varient aussi bien pour les consonnes voisées que pour les non voisées, à la terminaison et à l'initiation vocalique, il nous semble justement que la compression glottique augmente dans les deux cas avec l'effort phonatoire.

Dans l'expérience n°4, nous avons aussi observé un taux de voisement (V%) supérieur pour la voix forte-aigüe-pressée (F+) que pour la voix usuelle (Us), et pour cette dernière que pour la voix faible-grave-soufflée (F-). Dans l'expérience n°5, chez les femmes, nous observons à l'inverse un V% plus important pour la voix Us que pour la voix forte-pressée (f+), surtout pour antérieures et médianes voisées. Cependant, les mesures de V% n'étaient réalisées que sur trois

répétitions de 12 consonnes intervocaliques (structure VCV), soit 36 consonnes, dans l'expérience n°5, tandis qu'elles étaient réalisées sur 24 répétitions de quatre consonnes intervocaliques (trains de syllabes), soit 96 consonnes, dans l'expérience n°4. Par ailleurs, la fréquence fondamentale (F0) de la voix f+ dans l'expérience n°5 était bien plus élevée que celle de la voix Us : la différence était double de celle observée entre les voix F+ et Us dans l'expérience n°4. Il est donc possible que, dans l'expérience n°5, les femmes aient surmonté leur difficulté à maintenir la vibration des plis vocaux pendant la réalisation des consonnes en fournissant davantage d'effort phonatoire.

Nous observons aussi que la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a), comme sa version originale (RFF), à l'initiation vocalique, était plus basse pour la voix forte-aigüe-pressée (F+) de l'expérience n°4, ou la voix aigüe-pressée (f+) de l'expérience n°5, que pour la voix usuelle (Us), et pour celle-ci que pour la voix faible-grave-soufflée (F-). Cet effet était plus important pour les consonnes non voisées, comme nous l'attendions, même s'il existait aussi pour les consonnes voisées. L'abaissement de la RFF_a à l'initiation des voyelles post-consonantiques, notamment suivant les consonnes non voisées, semble donc bien correspondre à une augmentation de l'effort phonatoire. Dans l'expérience n°5, nous notons que cet effet était plus important pour la structure syllabique #CV que pour la structure dissyllabique VCV.

Au niveau de la terminaison vocalique en revanche, nous avons constaté des incohérences entre les expériences : dans l'expérience n°5, la RFF_a et la RFF étaient plus hautes pour la voix aigüe-pressée (f+) que pour la voix usuelle (Us). Cet effet, chez les femmes, était plus grand pour la structure VCV que pour la structure VC# et, chez les hommes, il était uniquement observable pour la structure VCV. Dans l'expérience 4, à la terminaison vocalique, la RFF_a et la RFF étaient aussi plus hautes pour la voix forte-aigüe-pressée (F+) que pour la voix Us, mais uniquement chez les hommes. Ici, nous n'observons pas d'effet du voisement, mais il semble tout de même que, comme attendu, dans la plupart des cas, l'élévation de la RFF_a à la terminaison des voyelles pré-consonantiques corresponde à une augmentation de l'effort phonatoire.

11. Perspectives

Dans cette étude, nous pensons avoir développé une mesure perceptive de l'effort phonatoire. Il s'agit du taux d'auto-perception de la difficulté de production d'items formés avec une consonne voisée, par rapport à des items formés avec une consonne non voisée correspondante, dans des paires. Nous avons aussi adapté une mesure acoustique de l'effort phonatoire : la fréquence fondamentale relative (RFF_a) au niveau des frontières consonantiques. Cependant, pour valider ces mesures des deux aspects, perceptif et physique, de l'effort phonatoire, il est nécessaire de les corrélérer. Or, dans notre étude, nous n'avons pas recueilli de données simultanées chez des sujets sains. La suite logique de ce travail paraît donc être le recueil de données perceptives et acoustiques, chez un grand nombre de participants, en enregistrant la production des paires d'items pendant la tâche d'auto-perception de la difficulté. Ces données obtenues simultanément nous permettraient de corrélérer la perception des consonnes voisées comme plus difficiles à produire que les consonnes non voisées, ou inversement, à des valeurs ou des patterns de RFF_a , à la terminaison des voyelles pré-consonantiques ou à l'initiation des voyelles post-consonantiques, pour l'un ou l'autre type de consonne. Une telle expérience permettrait aussi de dégager des normes pour la RFF_a , qui semble différer entre les hommes et les femmes. En effet, nous disposons de données pour 96 participants en ce qui concerne l'indice perceptif mais seulement de 12 femmes et 12 hommes pour la RFF_a ,

De plus, nous disposons seulement de 36 paires d'items par participant dans l'expérience de perception et de 108 items par participant dans l'expérience de production. Comme nous l'avons évoqué dans la discussion des résultats, un nombre de 108 paires, soit 216 items, par participant permettrait d'observer si les effets du voisement sont significatifs ou non chez un individu. Une expérience de ce type pourrait aussi permettre de pousser les observations du cas des consonnes fricatives antérieures /f, v/, pour lesquelles le taux de perception de l'effort était inversé mais les patterns et les valeurs de RFF_a comparables aux autres consonnes fricatives étudiées.

Par ailleurs, nous n'avons pas fait varier l'effort phonatoire dans l'expérience de perception de la présente étude. Il pourrait donc s'avérer intéressant, dans une autre expérience comprenant des mesures perceptives et acoustiques simultanées, de faire varier la production de la voix entre les paires d'items étudiées. Nous pourrions notamment indiquer, dans un ordre aléatoire et pour chaque paire d'item présentée sur un écran d'ordinateur, les consignes « plus fort » et « moins fort » afin de faire varier l'intensité mais aussi, comme nous l'avons vu dans les tests d'élicitation de l'effort, la hauteur et la qualité de la voix. Ces consignes concernant l'intensité pourraient être plus facilement respectées dans des productions courtes de paires d'items que dans les productions longues que nous avons étudiées ici. De plus, nous avons observé que la consigne de production d'une voix forte entraînait le plus souvent la production d'une voix forte-aigüe-pressée (F+), impliquant davantage d'effort phonatoire d'après les indices aérodynamiques et acoustiques que nous avons utilisés pour évaluer cet effort, à savoir les écarts estimés de résistance glottique (GR) pour les consonnes fricatives ou de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) pour les consonnes occlusives d'une part et la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) d'autre part.

De plus, lorsque nous aurons identifié des valeurs ou des patterns de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) associés à la perception d'une difficulté de production plus importante pour les consonnes voisées que pour les non voisées, nous pourrions envisager une expérience d'hétéro-perception dans laquelle nous ferons varier les courbes de fréquence aux frontières de ces consonnes. En effet, dans cette étude, nous avons constaté que les auditeurs percevaient une différence de difficulté en écoutant des consonnes voisées et non voisées produites par un locuteur. Une telle expérience pourrait notamment permettre d'identifier un seuil ou une forme de RFF_a liés à la perception d'une différence entre les consonnes voisées et non voisées correspondantes.

Enfin, dans la présente étude, nous n'avons pas exploité certaines données recueillies lors de l'expérience n°5, à savoir la production des mots, des phrases et des textes lus avec la voix usuelle d'une part et avec la consigne de produire une voix aigüe d'autre part. Nous souhaitons observer les différences de fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) dans ces diverses productions de parole afin de comparer les résultats avec ceux présentés ici pour les syllabes. En effet, à terme, si cet indice acoustique s'avère adéquat pour l'évaluation de l'effort phonatoire, nous aimerions développer la mesure de RFF_a dans la parole connectée spontanée des patients dysphoniques.

12. Conclusion

Notre travail de thèse visait à caractériser l'effort phonatoire en décrivant ses variations en fonction du voisement des consonnes orales du français et du type de parole vocale produit. Pour cela, il était nécessaire de quantifier ce comportement. Nous avons donc tenté de développer deux indices complémentaires, l'un perceptif et l'autre acoustique. En effet, tout effort est défini comme la perception par le locuteur lui-même de la contraction de ses muscles impliqués dans l'activité (Ford Baldner et al., 2015). L'évaluation quantitative de l'effort phonatoire nécessite donc une mesure d'auto-perception et une mesure physique. Pour l'indice perceptif, nous avons adapté une mesure utilisée dans les années 1970 pour évaluer l'effort articulatoire : le taux de perception de la difficulté de production d'une consonne par rapport à une autre, dans un grand nombre de paires. Nous avons comparé des consonnes voisées et non voisées présentant le même mode et le même lieu articulatoire, en faisant l'hypothèse d'un effort phonatoire plus important pour les premières, tout en ayant à l'esprit que les dernières impliquent un effort articulatoire plus important. En ce qui concerne les mesures physiques de la phonation, nous avons vu qu'elles pouvaient être physiologiques, notamment avec l'électromyographie (EMG), aérodynamiques ou acoustiques. Les deux premières étant invasives, nous avons choisi d'adapter un indice acoustique proposé dans les années 2010 et qui nous paraissait intéressant : la fréquence fondamentale relative. Cependant,

comme toutes les mesures acoustiques, cet indice variait avec les qualités vibratoires intrinsèques des plis vocaux, c'est-à-dire entre les individus, en fonction de leur sexe par exemple, mais aussi probablement en fonction de leur santé vocale.

Dans cette étude, nous avons posé une première question concernant la dissociation entre l'effort phonatoire et l'effort articulatoire. Afin d'y répondre, nous avons non seulement opposé des consonnes voisées articulées faiblement et des consonnes non voisées articulées fortement, mais nous avons aussi essayé d'éliciter un comportement d'effort phonatoire chez des participants témoins. Nous avons constaté que la production de ce qui nous semble être un effort phonatoire, c'est-à-dire une voix plus forte, plus aigüe et plus pressée que la voix usuelle, était aussi associée à la production d'un effort articulatoire supérieur à celui observé dans la parole produite avec une voix usuelle. Cependant, l'augmentation de l'effort global dans la production de la parole semble impliquer des variations au niveau des indices aérodynamiques ou des indices acoustiques de l'effort phonatoire qui sont plus importantes pour les consonnes voisées, mais des variations au niveau des indices physiologiques, aérodynamiques ou acoustiques de l'effort articulatoire qui sont plus importantes pour les consonnes non voisées. Puisqu'il semble impossible de dissocier la production de l'effort phonatoire de celle de l'effort articulatoire, peut-être devrions-nous revenir à l'utilisation du terme « effort vocal » qui comprend les deux.

Même si ces deux types d'effort, phonatoire et articulatoire, paraissent intimement liés, dans notre principale expérience d'auto-perception, il semble que les locuteurs se soient fiés plutôt au degré de constriction glottique qu'au degré de constriction sus-glottique pour juger de la difficulté de production des consonnes voisées dans des paires d'items les opposant à leurs correspondantes non voisées. Le cas particulier des consonnes fricatives labiodentales /f, v/, que nous avons étudié, en le comparant au cas typique des consonnes occlusives bilabiales /p, b/, dans une expérience de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques, paraît confirmer cette hypothèse. En effet, pour ces consonnes fricatives, le taux d'auto-perception de la difficulté était plus élevé pour la production de la consonne non voisée /f/ qui présentait, contrairement à ce qui était attendu, une constriction glottique légèrement plus faible mais une constriction sus-glottique ou articulatoire elle aussi plus faible que sa correspondante voisée /v/. Pour les consonnes occlusives en revanche, comme pour le reste des consonnes étudiées, le taux d'auto-perception de la difficulté était plus élevé pour la production de la consonne voisée /b/ que pour sa

correspondante non voisée /p/. Comme attendu, dans ce cas typique, la consonne occlusive voisée /b/, qui avait été perçue comme difficile au même titre que la consonne fricative /f/, présentait une constriction glottique plus forte mais une force articuloire plus faible que sa correspondante non voisée /p/. De plus, dans la parole chuchotée, les deux consonnes fricatives labiodentales présentaient peu de différence de constriction glottique, mais la consonne non voisée /f/ présentait cette fois-ci une plus grande constriction sus-glottique ou articuloire que sa correspondante voisée /v/. Dans ces conditions, la consonne fricative non voisée a encore été perçue comme plus difficile à produire que la voisée. Il semble donc que les locuteurs prennent en compte l'effort articuloire dans un second temps, après l'effort phonatoire, pour juger de la difficulté de production d'une consonne dans une tâche d'auto-perception.

De plus, nous avons observé une interaction du voisement dans d'autres paires d'items, pour lesquelles l'opposition de la consonne était basée sur un paramètre articuloire (mode ou lieu). Suivant l'une de nos hypothèses, le voisement semblait plus difficile à produire dans les consonnes postérieures, du moins dans la tâche d'auto-perception. Dans la tâche de production, contrairement à l'une des hypothèses que nous avons posées, la fréquence fondamentale relative adaptée (RFF_a) à l'initiation vocalique était plus basse à la suite des consonnes fricatives voisées qu'à la suite des occlusives voisées, indiquant davantage de difficulté pour maintenir la vibration dans les premières. Cependant, l'hypothèse d'une difficulté plus importante pour produire le voisement, c'est-à-dire maintenir la vibration des plis vocaux, dans une consonne fricative que dans une occlusive avait déjà été envisagée par certains auteurs (Haggard, 1978; Liker & Gibbon, 2013; C. L. Smith, 1997).

Au cours de nos expériences, il nous semble avoir développé un indice perceptif fiable de l'effort phonatoire : le taux de perception de la difficulté de production d'une consonne voisée, par rapport à sa correspondante non voisée, dans un certain nombre de paires d'items formés à partir de ces consonnes, qui est égal à 61%. Cependant, des expériences complémentaires, notamment incluant un plus grand nombre de paires avec une opposition selon le voisement de la consonne, permettraient de confirmer ce résultat. En ce qui concerne notre indice acoustique, malgré notre volonté d'adapter la mesure de fréquence fondamentale relative (RFF) proposée par Stepp afin de normaliser les valeurs, il existe tout de même des variations en fonction du sexe du locuteur et donc en fonction des qualités vibratoires intrinsèques des plis vocaux (Stepp et al., 2012). Ainsi, même si nous parvenions à dégager des valeurs normales chez les sujets sains, pour les femmes

d'une part et pour les hommes d'autre part, il est probable que cette mesure se trouve faussée chez des patients dysphoniques souffrant de lésions des plis vocaux.

Enfin, dans cette étude, les indices aérodynamiques que nous avons développés pour évaluer l'effort phonatoire, qui consistaient à estimer des écarts entre les consonnes voisées et non voisées produites au cours d'une même expiration phonatoire, semblaient adéquats bien qu'incomplets. En effet, ces indices ne permettaient pas d'obtenir des valeurs absolues, donc de déterminer si l'effort réalisé au niveau du plan glottique augmentait seulement pour les consonnes voisées et non pour les consonnes non voisées, mais ils semblaient varier avec l'effort phonatoire, et de la même façon pour les hommes et les femmes. L'idéal, pour valider les indices perceptif et acoustique que nous avons présentés, serait de mener une expérience avec des mesures aérodynamiques directes et simultanées de la pression sous-glottique (SGP), par un cathéter trachéal, et de la pression sus-glottique ou intra-orale (IOP), par une sonde naso-buccale, ainsi que du débit du flux d'air oral ou trans-articulatoire (TAF) avec un masque naso-buccal hermétique. Ces mesures aérodynamiques nous permettraient de calculer les valeurs réelles et absolues de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) pour chaque consonne occlusive, ou de résistance glottique (GR) et de résistance articulatoire (AR) pour chaque fricative. Par ailleurs, le capteur de pression mécanique de contact (MCP) permettant de mesurer la force articulatoire de toutes les consonnes, pourrait aussi être utilisé, au niveau de la lèvre inférieure et en différents points du palais dur. Cependant, une telle expérience, à mener chez des sujets sains, nécessiterait l'obtention de l'accord d'un comité d'éthique car toutes ces mesures directes sont grandement invasives, voire douloureuses.

En conclusion, même si nous n'avons pas encore validé les indices perceptif et acoustique de l'effort phonatoire que nous avons testé dans cette étude, ceux-ci nous paraissent prometteurs. Avant de pouvoir les appliquer au cours du bilan de la phonation chez des patients dysphoniques, il est indispensable de mener des expériences complémentaires auprès de participants témoins. Tout d'abord, il semble nécessaire de vérifier si l'indice perceptif correspond à l'auto-perception de l'effort ou bien à une capacité individuelle de perception de ses sensations internes. Une expérience impliquant la variation de l'effort phonatoire au cours de l'épreuve d'auto-perception pourrait permettre de répondre à cette question. Ensuite, l'indice acoustique nécessite de plus amples investigations, notamment pour déterminer sa norme en fonction du sexe des individus. La prise en compte d'un troisième indice, aérodynamique, comme le propose d'ailleurs l'équipe de

Stepp, pourrait aider à la validation des deux indices, perceptif et acoustique (Lien et al., 2015). En particulier, nous pourrions utiliser l'une des valeurs aérodynamiques estimées que nous avons présentées ici, comme l'écart de différence de pression autour de la glotte (ΔGP).

*« Justement au moment où j'avais réussi à trouver toutes les réponses,
toutes les questions ont changé. »⁶*

⁶ Citation extraite du livre « Maktub », écrit par Paulo Coelho en 1994.

Liste des figures

Figure 1 : vue latérale des os, cartilages et ligaments du larynx	16
Figure 2 : vue supérieure des os, cartilages et ligaments du larynx	17
Figure 3 : vue supérieure des plis vocaux	18
Figure 4 : vue supérieure des muscles intrinsèques du larynx	19
Figure 5 : vue antérieure des muscles intrinsèques du larynx	19
Figure 6 : vue postérieure des muscles intrinsèques du larynx	20
Figure 7 : vue antérieure des muscles extrinsèques sous-hyoïdiens du larynx	22
Figure 8 : vue antérieure de l'innervation des muscles intrinsèques du larynx	23
Figure 9 : vue supérieure du larynx et coupe transversale des plis vocaux	24
Figure 10 : coupe frontale d'un pli vocal	25
Figure 11 : coupe sagittale des organes articulateurs et des cavités de résonance sus-glottiques	26
Figure 12 : coupe frontale de la vibration des plis vocaux	28
Figure 13 : voyelles orales du français en fonction de leur ouverture et de leur lieu articuloire en lien avec la valeur des formants 1 et 2	34
Figure 14 : relation entre les paramètres du flux d'air et la constriction glottique	36
Figure 15 : répartition des participants témoins entre les cinq expériences exploratoires	91
Figure 16 : répartition des participants témoins en fonction de leur département de naissance (gauche) et de résidence (droite) en France métropolitaine	92
Figure 17 : nombre de participants témoins ayant vécu dans d'autres départements que celui de leur naissance ou de leur résidence (gauche) et ayant toujours vécu dans leur département de naissance (droite)	93
Figure 18 : équipement du participant pour la mesure de la pression mécanique de contact des articulateurs	119
Figure 19 : exemple de segmentation des phonèmes étudiés au centre d'un train de syllabes en fonction du signal sonore et du spectre acoustique et présentation des signaux aérodynamiques et physiologiques	126
Figure 20 : consonnes et des voyelles sélectionnées dans chaque train de syllabes	128
Figure 21 : expérience n°3 d'hétéro perception en parole modale ; durées segmentales en fonction du voisement des consonnes, pour les voix perçues, chez les hommes	184
Figure 22 : expérience n°3 d'hétéro perception en parole modale ; taux de voisement en fonction du voisement des consonnes, pour les voix perçues, chez les hommes	184
Figure 23 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; fréquence fondamentale relative originale en fonction du voisement des consonnes, pour les voix perçues, chez les hommes	185
Figure 24 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, pour les voix perçues, chez les hommes	186
Figure 25 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; pression mécanique de contact des consonnes, dans la voix usuelle	245
Figure 26 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; durées des phonèmes, mesurées selon différentes méthodes, dans la voix usuelle	256
Figure 27 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; taux de voisement des consonnes, dans la voix usuelle	259
Figure 28 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; taux de voisement des consonnes en fonction du type de voix, chez les femmes	259
Figure 29 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; taux de voisement des consonnes en fonction du type de voix, chez les hommes	260
Figure 30 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; durées segmentales des consonnes, dans la voix usuelle .	262

Figure 31 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; durées segmentales des voyelles en fonction de leur position et de la structure syllabique, dans la voix usuelle	263
Figure 32 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; taux de voisement des consonnes, dans la voix usuelle...	265
Figure 33 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; taux de voisement des consonnes en fonction du type de voix, chez les femmes.....	265
Figure 34 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; taux de voisement des consonnes en fonction du type de voix, chez les hommes.....	266
Figure 35 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale des consonnes, dans la voix usuelle.....	269
Figure 36 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée des consonnes, dans la voix usuelle.....	269
Figure 37 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale en fonction du voisement des consonnes et du type de voix, chez les femmes	272
Figure 38 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes et du type de voix, chez les femmes	272
Figure 39 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale en fonction du voisement des consonnes et du type de voix, chez les hommes	275
Figure 40 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes et du type de voix, chez les hommes	275
Figure 41 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale des consonnes en fonction de la structure syllabique, dans la voix usuelle	277
Figure 42 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée des consonnes en fonction de la structure syllabique, dans la voix usuelle.....	277
Figure 43 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale en fonction du voisement des consonnes, de la structure syllabique et du type de voix, chez les femmes	281
Figure 44 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, de la structure syllabique et du type de voix, chez les femmes	281
Figure 45 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative originale en fonction du voisement des consonnes, de la structure syllabique et du type de voix, chez les hommes.....	284
Figure 46 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, de la structure syllabique et du type de voix, chez les hommes.....	284
Figure 47 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀ ₃	290
Figure 48 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀ ₂	290
Figure 49 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀ ₁	291
Figure 50 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀ ₄	292
Figure 51 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀ ₆	292
Figure 52 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀ ₁₁	293
Figure 53 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀ ₉	293
Figure 54 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez la femme ♀ ₁₂	294
Figure 55 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente g.....	294

Figure 56 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente e.....	295
Figure 57 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente h.....	296
Figure 58 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente k.....	297
Figure 59 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente c.....	298
Figure 60 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente d.....	298
Figure 61 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente m.....	299
Figure 62 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente l.....	300
Figure 63 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente j.....	301
Figure 64 : e expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente f.....	301
Figure 65 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente n.....	302
Figure 66 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez la patiente i.....	303
Figure 67 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂ ₁	304
Figure 68 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂ ₂	305
Figure 69 : expériences n°1 et n°5 exploratoires : taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂ ₃	305
Figure 70 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂ ₅	306
Figure 71 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂ ₁₀	307
Figure 72 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂ ₆	307
Figure 73 : expérience n°5 exploratoire : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez l'homme ♂ ₁₂	308
Figure 74 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez le patient x.....	308
Figure 75 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez le patient w.....	309
Figure 76 : expérience n°6 clinique ; taux de perception de la difficulté (gauche) et fréquence fondamentale relative adaptée (droite) en fonction du voisement des consonnes, chez le patient v.....	310
Figure 77 : taux d'auto-perception de la difficulté en fonction du voisement des consonnes, dans des structures syllabiques, chez les 96 participants témoins de l'expérience n°1 en parole modale.....	313
Figure 78 : taux d'auto-perception de la difficulté en fonction du voisement des consonnes, dans des structures syllabiques, chez les 12 nouveaux participants témoins de l'expérience n°2 en parole chuchotée.....	314
Figure 79 : taux d'hétéro-perception de la difficulté en fonction du voisement des consonnes, dans des structures syllabiques, chez les 12 nouveaux participants témoins de l'expérience n°3 en parole modale.....	314
Figure 80 : répartition des 96 participants témoins de l'expérience n°1 en fonction du taux de perception de la difficulté des consonnes voisées	315
Figure 81 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez les 12 femmes de l'expérience n°5.....	326
Figure 82 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez les 12 hommes de l'expérience n°5.....	326

Figure 83 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes, chez les quatre patientes présentant un taux de perception de la difficulté supérieur à 72%.....	329
Figure 84 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes occlusives bilabiales et fricatives labiodentales, chez les 24 participants témoins de l'expérience n°5.....	346
Figure 85 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes occlusives et fricatives apico-alvéolaires, chez les 24 participants témoins de l'expérience n°5	348
Figure 86 : fréquence fondamentale relative adaptée en fonction du voisement des consonnes occlusives dorso-vélaires et fricatives apico-post-alvéolaires, chez les 24 participants témoins de l'expérience n°5.....	349

Liste des tableaux

Tableau 1 : actions engendrées par la contraction des muscles intrinsèques du larynx sur les plis vocaux	21
Tableau 2 : contraction des muscles laryngés intrinsèques en fonction du mécanisme de phonation	32
Tableau 3 : activité des muscles laryngés intrinsèques en fonction du voisement des consonnes	39
Tableau 5 : échelle de Borg (1990) adaptée pour l'évaluation de l'effort vocal (Ford Baldner et al., 2015).....	56
Tableau 6 : expérience d'auto-perception en parole modale (Malécot, 1955) ; effet de la consonne	58
Tableau 7 : expérience d'auto-perception en parole chuchotée (Locke, 1972) ; effet de la consonne.....	59
Tableau 8 : expérience d'auto-perception en parole modale (Parnell & Amerman, 1977) ; effet de la consonne	60
Tableau 9 : expérience d'auto-perception en parole chuchotée (Parnell & Amerman, 1977) ; effet de la consonne.....	60
Tableau 10 : expérience d'auto-perception en parole subvocale (Parnell & Amerman, 1977) ; effet de la consonne	60
Tableau 11 : répartition des participants de l'expérience n°1 en fonction de leur sexe, de leur âge et de la consigne qui leur a été donnée	87
Tableau 12 : répartition des participants de l'expérience n°2 en fonction de leur sexe et de leur participation préalable à l'expérience n°1.....	88
Tableau 13 : répartition des participants de l'expérience n°3 en fonction de leur sexe et de leur participation préalable à l'expérience n°1.....	89
Tableau 14 : modalités de participation des témoins aux cinq expériences exploratoires	90
Tableau 15 : nombre d'employés et d'étudiants parmi les participants témoins	94
Tableau 16 : formations universitaires suivies par les participants témoins.....	95
Tableau 17 : tabagisme chez les participants témoins.....	96
Tableau 18 : facteurs de variation chez les locuteurs ayant produit les stimuli de l'expérience n°3	97
Tableau 19 : facteurs de variation chez les patients ayant pris part à l'expérience n°6	98
Tableau 20 : récapitulatif des variables indépendantes pour les participants dans les six expériences.....	99
Tableau 21 : classement des consonnes orales du français étudiées, en fonction de leur voisement, de leur mode et de leur lieu articulaire	100
Tableau 22 : classement des structures étudiées en fonction de la position de la consonne	101
Tableau 23 : constitution des 336 paires d'items de l'expérience n°1 (avec consonnes isolées).....	102
Tableau 24 : constitution des 216 paires d'items des expériences n°1 et n°2 (sans consonnes isolées)	103
Tableau 25 : constitution des 336 paires d'items de l'expérience n°3 (avec consonnes isolées).....	104
Tableau 26 : constitution des 216 paires d'items de l'expérience n°3 (sans consonnes isolées)	105
Tableau 27 : constitution des 24 trains de huit syllabes de l'expérience n°4	106
Tableau 28 : types de parole et de voix étudiés dans les six expériences.....	108
Tableau 29 : types de parole étudiés et modalités de perception dans les expériences n°1, n°2 et n°3	108
Tableau 30 : récapitulatif du matériel linguistique utilisé dans les six expériences	111
Tableau 31 : présentation des symboles phonétiques dans les expériences n°1 et n°2 (apprentissage).....	113
Tableau 32 : présentation des 48 items transcrits avec les symboles phonétiques dans l'expérience n°1 (entraînement)	115
Tableau 33 : présentation des 36 items transcrits avec les symboles phonétiques dans l'expérience n°2 (entraînement)	116
Tableau 34 : présentation des 48 paires d'items dans l'expérience n°6 (passation)	122
Tableau 35 : récapitulatif des protocoles de recueil des données pour les six expériences	123
Tableau 36 : récapitulatif du traitement des données pour les six expériences	129
Tableau 37 : valeurs phi ou V de Cramer en fonction du degré de liberté (test chi-carré)	131
Tableau 38 : paramètres acoustiques des voix perçues dans l'expérience n°3	132
Tableau 39 : types de voix possibles par rapport à la voix usuelle dans l'expérience n°4.....	133
Tableau 40 types de voix possibles par rapport à la voix usuelle dans l'expérience n°5.....	135
Tableau 41 : récapitulatif de l'analyse des données pour les six expériences	136
Tableau 42 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de l'item (en excluant les consonnes isolées)	140
Tableau 43 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet de l'item (sans consonnes isolées)	141
Tableau 44 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de l'item (en excluant les consonnes isolées)	143

Tableau 45 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure (en excluant les consonnes isolées).....	147
Tableau 46 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction de la consigne donnée au participant (en excluant les consonnes isolées)	147
Tableau 47 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction de la consonne de l'item (en excluant les consonnes isolées).....	148
Tableau 48 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du voisement de la consonne (en excluant les consonnes isolées).....	148
Tableau 49 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du mode articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	149
Tableau 50 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du lieu articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées).....	149
Tableau 51 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée, effet de la structure (sans consonnes isolées)	150
Tableau 52 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée, effet de la structure en fonction du sexe du participant (sans consonnes isolées)	150
Tableau 53 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet de la structure en fonction de la participation préalable à l'expérience n°1 en parole modale (sans consonnes isolées).....	151
Tableau 54 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée, effet de la structure en fonction de la consonne de l'item (sans consonnes isolées)	151
Tableau 55 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception, effet de la structure en fonction du type de parole (sans consonnes isolées).....	152
Tableau 56 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la structure (en excluant les consonnes isolées).....	154
Tableau 57 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction de la participation à l'expérience n°1 d'auto-perception (en excluant les consonnes isolées)	154
Tableau 58 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du mode articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	154
Tableau 59 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du type de perception (en excluant les consonnes isolées)	156
Tableau 60 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne (en excluant les consonnes isolées).....	160
Tableau 61 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction du sexe du participant (en excluant les consonnes isolées).....	160
Tableau 62 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de l'âge du participant (en excluant les consonnes isolées).....	160
Tableau 63 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de la consigne donnée au participant (en excluant les consonnes isolées)	161
Tableau 64 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées).....	161
Tableau 65 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne, pour les consonnes étudiées dans l'expérience n°4	162
Tableau 66 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du mode articuloire de la consonne, pour les consonnes étudiées dans l'expérience n°4	163
Tableau 67 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du voisement de la consonne, pour les consonnes étudiées dans l'expérience n°4	163
Tableau 68 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet de la consonne (sans consonnes isolées).....	165
Tableau 69 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet de la consonne en fonction de la structure de l'item (sans consonnes isolées)	165
Tableau 70 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la consonne (en excluant les consonnes isolées).....	168
Tableau 71 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, effet de la consonne en fonction du type de perception (en excluant les consonnes isolées)	168

Tableau 72 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement (en excluant les consonnes isolées)	172
Tableau 73 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de l'âge du participant (en excluant les consonnes isolées)	172
Tableau 74 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées)	173
Tableau 75 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du mode articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	173
Tableau 76 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du lieu articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	174
Tableau 77 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes fricatives labiodentales (en excluant les consonnes isolées)	175
Tableau 78 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la structure de l'item, pour les consonnes fricatives labiodentales (en excluant les consonnes isolées)	175
Tableau 79 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes occlusives bilabiales (en excluant les consonnes isolées)	176
Tableau 80 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la structure de l'item, pour les consonnes occlusives bilabiales (en excluant les consonnes isolées)	176
Tableau 81 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes fricatives apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)	177
Tableau 82 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes occlusives apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)	178
Tableau 83 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes fricatives apico-post-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)	179
Tableau 84 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement, pour les consonnes occlusives dorso-vélaires (en excluant les consonnes isolées)	179
Tableau 85 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du voisement (sans consonnes isolées)	180
Tableau 86 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du voisement en fonction du mode articuloire de la consonne (sans consonnes isolées)	180
Tableau 87 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du voisement en fonction du lieu articuloire de la consonne (sans consonnes isolées)	181
Tableau 88 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception, effet du voisement en fonction du type de parole (sans consonnes isolées)	181
Tableau 89 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement (en excluant la consonne isolée)	183
Tableau 90 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la voix perçue, chez les femmes et chez les hommes (en excluant les consonnes isolées)	183
Tableau 91 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la participation préalable à l'expérience n°1 d'auto-perception (en excluant les consonnes isolées)	186
Tableau 92 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du mode articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	187
Tableau 93 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du lieu articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	187
Tableau 94 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	192
Tableau 95 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articuloire en fonction du sexe du participant (en excluant les consonnes isolées)	192
Tableau 96 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articuloire en fonction de l'âge du participant (en excluant les consonnes isolées)	193

Tableau 97 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articuloire en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées)	193
Tableau 98 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articuloire en fonction du voisement de la consonne (en excluant les consonnes isolées).....	194
Tableau 99 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; tendance de l'effet du mode articuloire en fonction du lieu articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées).....	194
Tableau 100 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire, pour les consonnes apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées).....	195
Tableau 101 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du sexe du participant, pour les consonnes apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)	195
Tableau 102 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de l'âge du participant, pour les consonnes apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)	195
Tableau 103 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de la structure de l'item, pour les consonnes apico-alvéolaires (en excluant les consonnes isolées)	196
Tableau 104 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du mode articuloire (sans consonnes isolées)	196
Tableau 105 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du mode articuloire en fonction du sexe du participant (sans consonnes isolées)	197
Tableau 106 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du mode articuloire en fonction de la participation préalable à l'expérience n°1 en parole modale (sans consonnes isolées)	197
Tableau 107 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du mode articuloire en fonction de la structure de l'item (sans consonnes isolées)	197
Tableau 108 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire (en excluant les consonnes isolées).....	199
Tableau 109 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de la participation préalable à l'expérience n°1 d'auto-perception (en excluant les consonnes isolées).....	200
Tableau 110 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées).....	200
Tableau 111 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du voisement de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	201
Tableau 112 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du lieu articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	201
Tableau 113 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire (en excluant les consonnes isolées).....	205
Tableau 114 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction de la consigne donnée au participant (en excluant les consonnes isolées)	205
Tableau 115 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées).....	206
Tableau 116 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction du voisement de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	206
Tableau 117 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction du mode articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	207
Tableau 118 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du lieu articuloire (sans consonnes isolées).....	207
Tableau 119 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du lieu articuloire en fonction de la structure de l'item (sans consonnes isolées).....	208
Tableau 120 : expérience n°2 d'auto-perception en parole chuchotée ; effet du lieu articuloire en fonction du voisement de la consonne (sans consonnes isolées).....	208
Tableau 121 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire (en excluant les consonnes isolées).....	210
Tableau 122 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction du sexe du participant (en excluant les consonnes isolées).....	211

Tableau 123 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction de la structure de l'item (en excluant les consonnes isolées).....	211
Tableau 124 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction du voisement de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	212
Tableau 125 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction du mode articuloire de la consonne (en excluant les consonnes isolées)	212
Tableau 126 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques de la voix usuelle chez les femmes	217
Tableau 127 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques de la voix usuelle chez les hommes	218
Tableau 128 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀ ₁	219
Tableau 129 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀ ₂	220
Tableau 130 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀ ₃	221
Tableau 131 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀ ₄	221
Tableau 132 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀ ₅	222
Tableau 133 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez la femme ♀ ₆	223
Tableau 134 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme ♂ ₁	223
Tableau 135 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme ♂ ₂	224
Tableau 136 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme ♂ ₃	225
Tableau 137 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme ♂ ₄	226
Tableau 138 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme ♂ ₅	226
Tableau 139 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez l'homme ♂ ₆	227
Tableau 140 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; types de voix observés chez les femmes	228
Tableau 141 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des types de voix sélectionnés chez les femmes.....	229
Tableau 142 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; types de voix observés chez les hommes	230
Tableau 143 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques des types de voix sélectionnés chez les hommes	231
Tableau 144 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques de la parole vocale basale.....	232
Tableau 145 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; paramètres acoustiques de la parole chuchotée.....	233

Tableau 146 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; récapitulatif des productions retenues pour les analyses suivantes.....	234
Tableau 147 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques de la voix usuelle chez les femmes.....	236
Tableau 148 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques de la voix usuelle chez les hommes.....	238
Tableau 149 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez les femmes.....	239
Tableau 150 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques des voix produites par rapport à la voix usuelle chez les hommes.....	240
Tableau 151 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques du type de voix sélectionné chez les femmes.....	242
Tableau 152 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; paramètres acoustiques des types de voix sélectionnés chez les hommes.....	242
Tableau 153 : expérience n°6 clinique ; paramètres acoustiques de la voix usuelle des patients.....	288
Tableau 154 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de l'item (avec consonnes isolées).....	390
Tableau 155 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception ; effet de l'item, tous types de parole confondus (sans consonnes isolées).....	391
Tableau 156 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de l'item (avec consonnes isolées).....	391
Tableau 157 : chez les participants communs expériences n°1 et n°3 en parole modale ; effet de l'item, tous types de perception confondus (avec consonnes isolées).....	392
Tableau 158 : chez les participants communs aux expériences en parole modale n°1 et n°3 ; effet de l'item, tous types de perception confondus (en excluant les consonnes isolées).....	392
Tableau 159 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure (avec consonnes isolées).....	393
Tableau 160 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction de la consigne donnée au participant (avec consonnes isolées).....	393
Tableau 161 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction de la consonne de l'item (avec consonnes isolées).....	393
Tableau 162 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du voisement de la consonne (avec consonnes isolées).....	394
Tableau 163 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du mode articulaire de la consonne (avec consonnes isolées).....	394
Tableau 164 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du lieu articulaire de la consonne (avec consonnes isolées).....	394
Tableau 165 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception ; effet de la structure, tous types de parole confondus (sans consonnes isolées).....	394
Tableau 166 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la structure (avec consonnes isolées).....	395
Tableau 167 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du mode articulaire de la consonne (avec consonnes isolées).....	395
Tableau 168 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet de la structure (avec consonnes isolées).....	395
Tableau 169 : chez les participants aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du type de perception (avec consonnes isolées).....	395
Tableau 170 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet de la structure (en excluant les consonnes isolées).....	396
Tableau 171 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne (avec consonnes isolées).....	397

Tableau 172 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction du sexe du participant (avec consonnes isolées)	397
Tableau 173 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de l'âge du participant (avec consonnes isolées)	397
Tableau 174 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de la consigne donnée au participant (avec consonnes isolées)	398
Tableau 175 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)	398
Tableau 176 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception ; effet de la consonne (sans consonnes isolées)	399
Tableau 177 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la consonne (avec consonnes isolées)	399
Tableau 178 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)	399
Tableau 179 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, effet de la consonne (avec consonnes isolées)	400
Tableau 180 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, effet de la consonne en fonction du type de perception (avec consonnes isolées)	400
Tableau 181 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, effet de la consonne (sans consonnes isolées)	400
Tableau 182 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne (avec consonnes isolées)	401
Tableau 183 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de l'âge du participant (avec consonnes isolées)	401
Tableau 184 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)	401
Tableau 185 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du mode articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)	401
Tableau 186 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du lieu articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)	402
Tableau 187 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative labiodentale (avec consonnes isolées)	402
Tableau 188 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative labiodentale en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)	402
Tableau 189 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne occlusive bilabiale (avec consonnes isolées)	402
Tableau 190 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne occlusive bilabiale en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)	403
Tableau 191 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative apico-alvéolaire (avec consonnes isolées)	403
Tableau 192 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative apico-alvéolaire (avec consonnes isolées)	403
Tableau 193 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne occlusive apico-alvéolaire (avec consonnes isolées)	403
Tableau 194 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative apico-post-alvéolaire (avec consonnes isolées)	404
Tableau 195 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative apico-post-alvéolaire (avec consonnes isolées)	404
Tableau 196 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne occlusive dorso-vélaire (avec consonnes isolées)	404

Tableau 197 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception ; effet du voisement (sans consonnes isolées)	404
Tableau 198 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement (avec consonnes isolées)	404
Tableau 199 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la participation à l'expérience n°1 d'auto-perception (avec consonnes isolées)	405
Tableau 200 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du mode articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)	405
Tableau 201 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du lieu articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)	405
Tableau 202 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du voisement (avec consonnes isolées)	405
Tableau 203 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du type de perception (avec consonnes isolées)	406
Tableau 204 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du voisement (en excluant les consonnes isolées)	406
Tableau 205 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire (avec consonnes isolées)	406
Tableau 206 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction de l'âge du participant (avec consonnes isolées)	406
Tableau 207 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)	407
Tableau 208 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction du lieu articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)	407
Tableau 209 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire, pour les consonnes apico-alvéolaires (avec consonnes isolées)	407
Tableau 210 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction de la du sexe du participant, pour les consonnes apico-alvéolaires (avec consonnes isolées)	407
Tableau 211 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction de la de l'âge du participant, pour les consonnes apico-alvéolaires (avec consonnes isolées)	408
Tableau 212 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction de la structure de l'item, pour les consonnes apico-alvéolaire (avec consonnes isolées)	408
Tableau 213 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articulaire (avec consonnes isolées)	408
Tableau 214 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction de la participation préalable à l'expérience n°1 d'auto-perception (avec consonnes isolées)	408
Tableau 215 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)	409
Tableau 216 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction du voisement de la consonne (avec consonnes isolées)	409
Tableau 217 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction du lieu articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)	409
Tableau 218 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du mode articulaire (avec consonnes isolées)	409
Tableau 219 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction du type de perception (avec consonnes isolées)	410
Tableau 220 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du mode articulaire (en excluant les consonnes isolées)	410
Tableau 221 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire (avec consonnes isolées)	410
Tableau 222 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction de l'âge du participant (avec consonnes isolées)	410

Tableau 223 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction de la consigne donnée au participant (avec consonnes isolées).....	411
Tableau 224 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées).....	411
Tableau 225 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction du voisement de la consonne (avec consonnes isolées).....	411
Tableau 226 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction du mode articuloire de la consonne (avec consonnes isolées).....	411
Tableau 227 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception ; effet du lieu articuloire (sans consonnes isolées).....	412
Tableau 228 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire (avec consonnes isolées).....	412
Tableau 229 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction du sexe du participant (avec consonnes isolées).....	412
Tableau 230 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées).....	412
Tableau 231 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction du voisement de la consonne (avec consonnes isolées).....	413
Tableau 232 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction du mode articuloire de la consonne (avec consonnes isolées).....	413
Tableau 233 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du lieu articuloire (avec consonnes isolées).....	413
Tableau 234 : chez les participants aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du lieu articuloire (en excluant les consonnes isolées).....	413
Tableau 235 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme ♀ ₁	414
Tableau 236 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme ♀ ₂	414
Tableau 237 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme ♀ ₃	415
Tableau 238 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme ♀ ₄	415
Tableau 239 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme ♀ ₅	416
Tableau 240 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme ♀ ₆	416
Tableau 241 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme ♂ ₁	417
Tableau 242 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme ♂ ₂	417
Tableau 243 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme ♂ ₃	418
Tableau 244 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme ♂ ₄	418
Tableau 245 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme ♂ ₅	419
Tableau 246 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme ♂ ₆	419

Tableau 247 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les types de voix sélectionnés, chez les femmes.....	420
Tableau 248 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les types de voix sélectionnés, chez les hommes.....	420
Tableau 249 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle, chez les femmes.....	421
Tableau 250 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle, chez les hommes.....	421
Tableau 251 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : pression mécanique de contact et résistance articuloire en fonction des types de parole ou de voix.....	422
Tableau 252 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : pression mécanique de contact en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives.....	422
Tableau 253 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : pression mécanique de contact en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives.....	423
Tableau 254 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : résistance articuloire en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives.....	423
Tableau 255 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : résistance articuloire et durée segmentale des voyelles en fonction des types de parole ou de voix.....	424
Tableau 256 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : écarts estimés de résistance glottique et de différence de pression autour de la glotte en fonction des types de parole ou de voix.....	424
Tableau 257 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées segmentales (acoustiques) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives.....	425
Tableau 258 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées segmentales (acoustiques) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives.....	425
Tableau 259 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées aérodynamiques en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives.....	426
Tableau 260 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées aérodynamiques en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives.....	426
Tableau 261 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées physiologiques en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives.....	427
Tableau 262 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées physiologiques en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives.....	427
Tableau 263 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : taux de voisement en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives.....	428
Tableau 264 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : taux de voisement en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives.....	428
Tableau 265 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative originale (terminaison vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives.....	429
Tableau 266 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative originale (terminaison vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives.....	429
Tableau 267 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative originale (initiation vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives.....	430
Tableau 268 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative originale (initiation vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives.....	430
Tableau 269 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative adaptée (terminaison vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives.....	431

Tableau 270 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative adaptée (terminaison vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives	431
Tableau 271 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative adaptée (initiation vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives	432
Tableau 272 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative adaptée (initiation vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives.....	432

Références

- Abdelli-Beruh, N. B., Drugman, T., & Red Owl, R. H. (2015). Occurrence frequencies of acoustic patterns of vocal fry in American English speakers. *Journal of Voice*, 30(6), 759.e11–759.e20.
- Adda-Decker, M., Boula de Mareüil, P., Adda, G., & Lamel, L. (2005). Investigating syllabic structures and their variation in spontaneous French. *Speech Communication*, 46(2), 119–139.
- Alipour, F., & Jaiswal, S. (2009). Glottal airflow resistance in excised pig, sheep, and cow larynges. *Journal of Voice*, 23(1), 40–50.
- Alipour, F., Scherer, R. C., & Finnegan, E. M. (1997). Pressure-flow relationships during phonation as a function of adduction. *Journal of Voice*, 11(2), 187–194.
- Ananthapadmanabha, T. V., & Fant, G. (1982). Calculation of true glottal flow and its components. *Speech Communication*, 1(3-4), 167–184.
- Angerstein, W., & Neuschaefer-Rube, C. (1998). Sound pressure level examinations of the calling and speaking voice in healthy persons and in patients with hyperfunctional dysphonia. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 23(1), 21–25.
- Aronsson, C., Bohman, M., Ternström, S., & Södersten, M. (2007). Loud voice during environmental noise exposure in patients with vocal nodules. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 32(2), 60–70.
- Awan, S. N. (2006). The aging female voice: Acoustic and respiratory data. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 20(2-3), 171–180.
- Awan, S. N., & Alphonso, V. A. (2007). Effects of smoking on respiratory capacity and control. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 21(8), 623–636.
- Awan, S. N., & Mueller, P. B. (1992). Speaking fundamental frequency characteristics of centenarian females. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 6(3), 249–254.
- Bartkova, K., & Sorin, C. (1987). A model of segmental duration for speech synthesis in French. *Speech Communication*, 6(3), 245–260.
- Beckett, R. L., & Hallett, S. (1971). An investigation of airflow in relation to placement for vowel production. *Phonetica*, 23(1), 34–41.
- Bell-Berti, F. (1975). Control of pharyngeal cavity size for English voiced and voiceless stops. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 57(2), 456–461.
- Benguerel, A.-P., Hirose, H., Sawashima, M., & Ushijima, T. (1978). Laryngeal control in french stop production: A fiberoptic, acoustic and electromyographic study. *Folia Phoniatrica Logopaedica*, 30(3), 175–198.
- Berke, G. S., & Gerratt, B. R. (1993). Laryngeal biomechanics: An overview of mucosal wave mechanisms. *Journal of Voice*, 7(2), 123–128.
- Bhalla, R. K., Watson, G., Taylor, W., Jones, A. S., & Roland, N. J. (2009). Acoustic analysis in asthmatics and the influence of inhaled corticosteroid therapy. *Journal of Voice*, 23(4), 505–511.
- Bhattacharyya, N. (2014). The prevalence of voice problems among adults in the United States. *The Laryngoscope*, 124, 2359–2362.
- Bickley, C. A., & Stevens, K. N. (1986). Effects of a vocal-tract constriction on the glottal source: Experimental and modelling studies. *Journal of Phonetics*, 14, 373–382.
- Biezanski, W., & Tluchomski, W. (1965). Les études électromyographiques des muscles crico-thyroïdiens et sterno-thyroïdien dans la dysphonie fonctionnelle. *Folia Phoniatrica Logopaedica*, 17(3), 179–184.
- Boersma, P., & Weenkink, D. (2014). Praat: doing phonetics by computer (Version 5.3.64). Retrieved from www.praat.org
- Brandt, J. F. (1972). Effects of stimulus bandwidth on listener judgments of vocal loudness and effort. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 52(2B), 705–707.
- Brandt, J. F., Ruder, K. F., & Shipp, T. (1969). Vocal loudness and effort in continuous speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 46(6B), 1543–1548.
- Browman, C. P., & Goldstein, L. M. (1988). Some notes on syllables structure in articulatory phonology. *Phonetica*, 45(2-4), 140–155.
- Browman, C. P., & Goldstein, L. M. (1989). Articulatory gestures as phonological units. *Phonology*, 6(2), 201–251.
- Browman, C. P., & Goldstein, L. M. (1992). Articulatory phonology: An overview. *Phonetica*, 49(3-4), 155–180.
- Brown, Jr, W. S., Morris, R. J., & Murry, T. (1996). Comfortable effort level revisited. *Journal of Voice*, 10(3), 299–305.
- Brown, Jr, W. S., Murry, T., & Hughes, D. (1976). Comfortable effort level: An experimental variable. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 60(3), 696–699.
- Cantor Cutiva, L. C., Vogel, I., & Burdorf, A. (2013). Voice disorders in teachers and their associations with work-related factors: A systematic review. *Journal of Communication Disorders*, 46(2), 143–155.

- Catford, J. C. (1988). *A practical introduction to phonetics* (Oxford University Press).
- Chang, A., & Karnell, M. P. (2004). Perceived phonatory effort and phonation threshold pressure across a prolonged voice loading task: A study of vocal fatigue. *Journal of Voice, 18*(4), 454–466.
- Chapin, W. J., Hoffman, M. R., Rieves, A. L., & Jiang, J. J. (2011). Comparison of labial and mechanical interruption for measurements of aerodynamic parameters. *Journal of Voice, 25*(3), 337–341.
- Childers, D. G., Smith, A. M., & Moore, G. P. (1984). Relationships between electroglottograph, speech, and vocal cord contact. *Folia Phoniatica Logopaedica, 36*(3), 105–118.
- Collier, R., Lisker, L., Hirose, H., & Ushijima, T. (1979). Voicing in intervocalic stops and fricatives in Dutch. *Journal of Phonetics, 7*, 357–373.
- Colton, R. H., Casper, J. K., & Leonard, R. (2011). *Understanding voice problems: A physiological perspective for diagnosis and treatment* (Lippincott Williams & Wilkins). Baltimore, MD.
- Colton, R. H., & Hollien, H. (1972). Phonational range in the modal and falsetto registers. *Journal of Speech and Hearing Research, 15*, 708–713.
- Damsté, P. H., Hollien, H., Moore, G. P., & Murry, T. (1968). An X-ray study of vocal fold length. *Folia Phoniatica Logopaedica, 20*(6), 349–359.
- Davidson, L. (2016). Variability in the implementation of voicing in American English obstruents. *Journal of Phonetics, 54*, 35–50.
- De Bodt, M., van den Steen, L., Mertens, F., Raes, J., van Bel, L., Heylen, L., ... van de Heyning, P. (2015). Characteristics of a dysphonic population referred for voice assessment and/or voice therapy. *Folia Phoniatica Logopaedica, 67*(4), 178–186.
- Decoster, W., & Debruyne, F. (1997). Changes in spectral measures and voice-onset time with age: A cross-sectional and longitudinal study. *Folia Phoniatica Logopaedica, 49*(6), 269–280.
- Dejonckere, P. H. (1980). Les mécanismes musculaires élémentaires de régulation de la tension de la corde vocale au cours de la phonation. *Folia Phoniatica Logopaedica, 32*(1), 1–13.
- Dejonckere, P. H., Greindl, M., & Sneppe, R. (1985). Débitmétrie aérienne à paramètres phonatoires standardisés. *Folia Phoniatica Logopaedica, 37*(2), 58–65.
- Dejonckere, P. H., & Kob, M. (2009). Pathogenesis of vocal fold nodules: New insights from a modelling approach. *Folia Phoniatica Logopaedica, 61*(3), 171–179.
- De Jong, K. J. (2004). The perception of syllable affiliation of singleton stops in repetitive speech. *Language and Speech, 47*(3), 241–266.
- Desjardins, M., Halstead, L., Cooke, M., & Bonilha, H. S. (2016). A systematic review of voice therapy: What “effectiveness” really implies. *Journal of Voice, 31*(3), 392.e13–392.e32.
- D’haeseler, E., Depypere, H., & van Lierde, K. (2013). Comparison of speaking fundamental frequency between premenopausal women and postmenopausal women with and without hormone therapy. *Folia Phoniatica Logopaedica, 65*(2), 78–83.
- Dixit, R. P. (1989). Glottal gestures in Hindi plosives. *Journal of Phonetics, 17*, 213–237.
- Dixit, R. P., & Brown, Jr, W. S. (1978). Peak magnitudes of supraglottal air pressure associated with affricated and nonaffricated stop consonant productions in Hindi. *Journal of Phonetics, 6*, 353–365.
- Dixit, R. P., & Brown, Jr, W. S. (1985). Peak magnitudes of oral air flow during Hindi stops (plosives and affricates). *Journal of Phonetics, 13*, 219–234.
- Dixit, R. P., & MacNeilage, P. F. (1980). Cricothyroid activity and control of voicing in Hindi stops and affricates. *Phonetica, 37*(5-6), 397–406.
- Edmondson, J. A., & Esling, J. H. (2006). The valves of the throat and their functioning in tone, vocal register and stress: Laryngoscopic case studies. *Phonology, 23*(2), 157–182.
- Evans, J. P. (2015). High is not just the opposite of Low. *Journal of Phonetics, 51*, 1–5.
- Ewan, W. G., & Krones, R. (1974). Measuring larynx movement using the thyroumbrometer. *Journal of Phonetics, 2*, 327–335.
- Fallows, D. (1981). Experimental evidence for English syllabification and syllable structure. *Journal of Linguistics, 17*(2), 309–317.
- Fant, G. (1960). *Acoustic theory of speech production* (Mouton & Co). La Hague, Netherlands.
- Finnegan, E. M., Luschei, E. S., Barkmeier, J. M., & Hoffman, H. T. (1996). Sources of error in estimation of laryngeal airway resistance in persons with spasmodic dysphonia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 39*(1), 105–113.
- Finnegan, E. M., Luschei, E. S., & Hoffman, H. T. (2000). Modulations in respiratory and laryngeal activity associated with changes in vocal intensity during speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 43*(4), 934–950.
- Ford Baldner, E., Doll, E., & van Mersbergen, M. R. (2015). A review of measures of vocal effort with a preliminary study of the establishment of a vocal effort measure. *Journal of Voice, 29*(5), 530–541.

- Fougeron, C., & Smith, C. L. (1993). French. *Journal of the International Phonetic Association*, 23(2), 73–76.
- Fourcin, A. J. (2010). A note on voice timing and the evolution of connected speech. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 35(2), 74–80.
- Fritzell, B. (1996). Voice disorders and occupations. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 21(1), 7–12.
- Gauster, A., Yunusova, Y., & Zajac, D. J. (2010). The effect of speaking rate on velopharyngeal function in healthy speakers. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 24(7), 576–588.
- Gerratt, B. R., & Kreiman, J. (2001). Toward a taxonomy of nonmodal phonation. *Journal of Phonetics*, 29(4), 365–381.
- Gilbert, H. R. (1973). Oral airflow during stop consonant production. *Folia Phoniatrica Logopaedica*, 25(4), 288–301.
- Gillespie, A. I., Gartner-Schmidt, J., Rubinstein, E. N., & Verdolini Abbott, K. (2013). Aerodynamic profiles of women with muscle tension dysphonia/aphonia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 56(2), 481–488.
- Goldstein, L. M., & Browman, C. P. (1986). Representation of voicing contrasts using articulatory gestures. *Journal of Phonetics*, 14, 339–342.
- Gordon, M. T., Morton, F. M., & Simpson, I. C. (1978). Air flow measurements in diagnosis assessment and treatment of mechanical dysphonia. *Folia Phoniatrica Logopaedica*, 30(3), 161–174.
- Gorham-Rowan, M., & Fowler, L. (2008). Aerodynamic assessment of young women's voices as a function of oral contraceptive use. *Folia Phoniatrica Logopaedica*, 60(1), 20–24.
- Gould, W. J. (1971). Effect of respiratory and postural mechanisms upon action of the vocal folds. *Folia Phoniatrica Logopaedica*, 23(4), 211–224.
- Grillo, E. U., Perta, K., & Smith, L. (2009). Laryngeal resistance distinguished pressed, normal, and breathy voice in vocally untrained females. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 34(1), 43–48.
- Grillo, E. U., Verdolini Abbott, K., & Lee, T. D. (2010). Effects of masking noise on laryngeal resistance for breathy, normal, and pressed voice. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53(4), 850–861.
- Guimarães, I., & Abberton, E. R. M. (2005). Health and voice quality in smokers: An exploratory investigation. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 30(3), 185–191.
- Haag, W. K. (1977). Oral air pressure and airflow in German stop consonants. *Phonetica*, 34(1), 31–39.
- Haggard, M. (1978). The devoicing of voiced fricatives. *Journal of Phonetics*, 6, 95–102.
- Haggard, M., Ambler, S., & Callow, M. (1970). Pitch as a voicing cue. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 47(2B), 613–617.
- Hah, J. H. (2015). Evaluation of the prevalence of and factors associated with laryngeal diseases among the general population. *The Laryngoscope*, 125(11), 2536–2542.
- Hammarberg, B. (2000). Voice research and clinical needs. *Folia Phoniatrica Logopaedica*, 52(1-3), 93–102.
- Hanson, H. M. (2009). Effects of obstruent consonants on fundamental frequency at vowel onset in English. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(1), 425–441.
- Heller Murray, E. S., Hands, G. L., Calabrese, C. R., & Stepp, C. E. (2016). Effects of adventitious acute vocal trauma: Relative fundamental frequency and listener perception. *Journal of Voice*, 30(2), 177–185.
- Herbst, C., & Ternström, S. (2006). A comparison of different methods to measure the EGG contact quotient. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 31(3), 126–138.
- Herrington-Hall, B. L., Lee, L., Stemple, J. C., Niemi, K. R., & Miller McHone, M. (1988). Description of laryngeal pathologies by age, sex, and occupation in a treatment-seeking sample. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 53(1), 57–64.
- Hertegård, S., Gauffin, J., & Lindestad, P.-Å. (1995). A comparison of subglottal and intraoral pressure measurements during phonation. *Journal of Voice*, 9(2), 149–155.
- Hillman, R. E., Holmberg, E. B., Perkell, J. S., Walsh, M., & Vaughan, C. (1989). Objective assessment of vocal hyperfunction. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 32(2), 373–392.
- Hinton, V. A. (1996). Interlabial pressure during production of bilabial phones. *Journal of Phonetics*, 24(3), 337–349.
- Hirose, H., & Gay, T. (1972). The activity of the intrinsic laryngeal muscles in voicing control. *Phonetica*, 25(3), 140–164.
- Hirose, H., & Ushijima, T. (1978). Laryngeal control for voicing distinction in Japanese consonant production. *Phonetica*, 35(1), 1–10.
- Hixon, T. J. (1987). *Respiratory fonction in speech and song* (College-Hill Press). Boston, MA.
- Hollien, H., & Curtis, J. F. (1962). Elevation and tilting of vocal folds as a function of vocal pitch. *Folia Phoniatrica Logopaedica*, 14, 23–36.
- Hollien, H., Damsté, P. H., & Murry, T. (1969). Vocal fold length during vocal fry phonation. *Folia Phoniatrica Logopaedica*, 21(4), 257–265.

- Hollien, H., Girard, G. T., & Coleman, R. F. (1977). Vocal fold vibratory patterns of pulse register phonation. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 29(3), 200–205.
- Holmes, L. C., Leeper, Jr, H. A., & Nicholson, I. R. (1994). Laryngeal airway resistance of older men and women as a function of vocal sound pressure. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 37(4), 789–799.
- Honda, K., Hirai, H., Masaki, S., & Shimada, Y. (1999). Role of vertical larynx movement and cervical lordosis in F0 control. *Language and Speech*, 42(4), 401–411.
- Hong, K. H., & Kim, H. K. (1997). Electroglottography and laryngeal articulation in speech. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 49(5), 225–233.
- Horáček, J., Laukkanen, A.-M., Sidlof, P., Murphy, P., & Švec, J. G. (2009). Comparison of acceleration and impact stress as possible loading factors in phonation: A computer modeling study. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 61(3), 137–145.
- Huang, D. Z., Minifie, F. D., Kasuya, H., & Lin, S. X. (1996). Measures of vocal function during changes in vocal effort level. *Journal of Voice*, 9(4), 429–438.
- Huber, J. E., Chandrasekaran, B., & Wolstencroft, J. J. (2005). Changes to respiratory mechanisms during speech as a result of different cues to increase loudness. *Journal of Applied Physiology*, 98(6), 2177–2184.
- Isshiki, N. (1965). Vocal intensity and air flow rate. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 17(2), 92–104.
- Iwarsson, J., & Fredso, J. (2014). Impact of syllable stress and phonetic context on the distribution of intermittent aphonia. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 28(10), 757–768.
- Iwarsson, J., & Sundberg, J. (1998). Effects of lung volume on vertical larynx position during phonation. *Journal of Voice*, 12(2), 159–165.
- Iwata, S., von Leden, H., & Williams, D. (1972). Air flow measurement during phonation. *Journal of Communication Disorders*, 5(1), 67–79.
- Jacobson, B. H., Johnson, A., Grywalski, C., Silbergleit, A., Jacobson, G., Benninger, M. S., & Newman, C. W. (1997). The Voice Handicap Index (VHI): Development and validation. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 6(3), 66–70.
- Järvinen, K., & Laukkanen, A.-M. (2015). Vocal loading in speaking a foreign language. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 67(1), 1–7.
- Jiang, J. J., & Titze, I. R. (1994). Measurement of vocal fold intraglottal pressure and impact stress. *Journal of Voice*, 8(2), 132–144.
- Kankare, E., Laukkanen, A.-M., Ilomäki, I., Miettinen, A., & Pyllkänen, T. (2012). Electroglottographic contact quotient in different phonation types using different amplitude threshold levels. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 37(3), 127–132.
- Keating, P. A., Linker, W., & Huffman, M. (1983). Patterns in allophone distribution for voiced and voiceless stops. *Journal of Phonetics*, 11, 277–290.
- Kelman, A. W., Gordon, M. T., Simpson, I. C., & Morton, F. M. (1975). Assessment of vocal function by airflow measurements. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 27(4), 250–262.
- Kempster, G. B., Gerratt, B. R., Verdolini Abbott, K., Barkmeier-Kraemer, J., & Hillman, R. E. (2009). Consensus auditory-perceptual evaluation of voice: Development of a standardized clinical protocol. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 18, 124–132.
- Kenny, C. (2016). Assessment practices of Irish speech and language therapists in the evaluation of voice disorders. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 42(1), 12–21.
- Kent, R. D. (2004). The uniqueness of speech among motor systems. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 18(6-8), 495–505.
- Kohler, K. J. (1984). Phonetic explanation in phonology: The feature fortis/lenis. *Phonetica*, 41(3), 150–174.
- Kohler, K. J., & van Dommelen, W. A. (1986). Prosodic effects on lenis/fortis perception: Preplosive F0 and LPC synthesis. *Phonetica*, 43(1-3), 70–75.
- Kostyk, B. E., & Putnam Rochet, A. (1998). Laryngeal airway resistance in teachers with vocal fatigue: A preliminary study. *Journal of Voice*, 12(3), 287–299.
- Kotby, N. (1975). Percutaneous laryngeal electromyography. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 27(2), 116–127.
- Krakow, R. A. (1999). Physiological organization of syllables: A review. *Journal of Phonetics*, 27(1), 23–54.
- Kunze, L. H. (1964). Evaluation of methods of estimating sub-glottal air pressure. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 7(2), 151–164.
- Ladefoged, P. (1973). The features of the larynx. *Journal of Phonetics*, 1(1), 73–83.
- Laukkanen, A.-M., Järvinen, K., Artkoski, M., Waaramaa-Mäki-Kulmala, T., Kankare, E., Sippola, S., ... Salo, A. (2004). Changes in voice and subjective sensations during a 45-min vocal loading test in female subjects with vocal training. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 56(6), 335–346.

- Laukkanen, A.-M., Lindholm, P., & Vilkmán, E. (1995). Phonation into a tube as voice training method: Acoustic and physiologic observations. *Folia Phoniátrica Logopaedica*, 47(6), 331–338.
- Laukkanen, A.-M., Titze, I. R., Hoffman, H. T., & Finnegan, E. M. (2008). Effects of a semiocluded vocal tract on laryngeal muscle activity and glottal adduction in a single female subject. *Folia Phoniátrica Logopaedica*, 60(6), 298–311.
- Lauri, E.-R., Alku, P., Vilkmán, E., Sala, E., & Sihvo, M. (1997). Effects of prolonged oral reading on time-based glottal flow waveform parameters with special reference to gender differences. *Folia Phoniátrica Logopaedica*, 49(5), 234–246.
- Lavy, J. A., Wood, G., Rubin, J. S., & Harries, M. (2000). Dysphonia associated with inhaled steroids. *Journal of Voice*, 14(4), 581–588.
- Leeper, Jr, H. A., & Graves, D. K. (1984). Consistency of laryngeal airway resistance in adult women. *Journal of Communication Disorders*, 17(3), 153–163.
- Leeper, Jr, H. A., & Noll, J. D. (1972). Pressure measurements of articulatory behavior during alterations of vocal effort. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 51(4B), 1291–1295.
- Liberman, A. M., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P., & Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological Review*, 74(6), 431–461.
- Liberman, A. M., & Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21, 1–36.
- Lieberman, P., Knudson, R., & Mead, J. (1969). Determination of the rate of change of fundamental frequency with respect to subglottal air pressure during sustained phonation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 45(6), 1537–1543.
- Lien, Y.-A. S., Michener, C. M., Eadie, T. L., & Stepp, C. E. (2015). Individual monitoring of vocal effort with relative fundamental frequency: Relationships with aerodynamics and listener perception. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58, 566–575.
- Lien, Y.-A. S., Michener, C. M., & Stepp, C. E. (2014). Validation of relative fundamental frequency using an aerodynamic estimate of vocal effort. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 135(4), 2194.
- Liker, M., & Gibbon, F. E. (2013). Differences in EPG contact dynamics between voiced and voiceless lingual fricatives. *Journal of the International Phonetic Association*, 43(1), 49–64.
- Liker, M., Horga, D., & Mildner, V. (2011). Electropalatographic specification of Croatian fricatives /s/ and /z/. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 26(3), 199–215.
- Linke, C. E. (1973). A study of pitch characteristics of female voices and their relationship to vocal effectiveness. *Folia Phoniátrica Logopaedica*, 25(3), 173–185.
- Lisker, L., & Abramson, A. S. (1971). Distinctive features and laryngeal control. *Language*, 47(4), 767–785.
- Locke, J. L. (1972). Ease of articulation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 15(1), 194–200.
- Löfqvist, A. (1975). A study of subglottal pressure during the production of Swedish stops. *Journal of Phonetics*, 3(3), 175–189.
- Löfqvist, A., Baer, T., McGarr, N. S., & Seider Story, R. (1989). The cricothyroid muscle in voicing control. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 85(3), 1314–1321.
- Loucks, T. M. J., Shosted, R. K., De Nil, L. F., Poletto, C. J., & King, A. (2010). Coordinating voicing onset with articulation: A potential role for sensory cues in shaping phonological distinctions. *Phonetica*, 67(1-2), 47–62.
- Lowden, M., McGlashan, J. A., Steel, A., Strugala, V., & Dettmar, P. W. (2009). Prevalence of symptoms suggestive of extra-oesophageal reflux in a general practice population in UK. *Logopedics Phoniátrics Vocology*, 34(1), 32–35.
- Lubker, J. F., & Parris, P. J. (1970). Simultaneous measurements of intraoral pressure, force of labial contact, and labial electromyographic activity during production of the stop consonant cognates /p/ and /b/. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 47(2B), 625–633.
- Malécot, A. (1955). An experimental study of force of articulation. *Studia Linguistica*, 9(1-2), 35–44.
- Malécot, A. (1966a). Mechanical pressure as an Index of “force of articulation.” *Phonetica*, 14(3), 169–180.
- Malécot, A. (1966b). The effectiveness of intra-oral air-pressure-pulse parameters in distinguishing between stop cognates. *Phonetica*, 14(2), 65–81.
- Malécot, A. (1969). The effect of syllabic rate and loudness on the force of articulation of American stops and fricatives. *Phonetica*, 19(4), 205–216.
- Malécot, A. (1970). The lenis-fortis opposition: Its physiological parameters. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 47(6B), 1588–1592.
- Malécot, A. (1974). Frequency of occurrence of French phonemes and consonant clusters. *Phonetica*, 29(3), 158–170.
- Massery, M., Hagins, M., Stafford, R., Moerchen, V., & Hodges, P. W. (2013). Effect of airway control by glottal structures on postural stability. *Journal of Applied Physiology*, 115(4), 483–490.

- McGlone, R. E., & Shipp, T. (1971). Some physiologic correlates of vocal-fry phonation. *Journal of Speech and Hearing Research*, 14, 769–775.
- McGlone, R. E., & Shipp, T. (1972). Comparison of subglottal air pressures associated with /p/ and /b/. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 51, 664–665.
- Melcon, M. C., Hoit, J. D., & Hixon, T. J. (1989). Age and laryngeal airway resistance during vowel production. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 54(2), 282–286.
- Messalam, T. A., Malki, K. H., Farahat, M., Bukhari, M., & Alharethy, S. (2014). Voice problems among laryngopharyngeal reflux patients diagnosed with oropharyngeal pH monitoring. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 65(6), 280–287.
- Miller, C. J., & Daniloff, R. (1977). Aerodynamics of stops in continuous speech. *Journal of Phonetics*, 5, 351–360.
- Miller, C. J., & Daniloff, R. (1993). Airflow measurements: Theory and utility of findings. *Journal of Voice*, 7(1), 38–46.
- Milutinović, Z., & Bojić, P. (1996). Functional trauma of the vocal folds: Classification and management strategies. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 48(2), 78–85.
- Minifie, F. D., Abbs, J. H., Tarlow, A., & Kwaterski, M. (1974). EMG activity within the pharynx during speech production. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 17(3), 497–504.
- Mooshammer, C. (2010). Acoustic and laryngographic measures of the laryngeal reflexes of linguistic prominence and vocal effort in German. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(2), 1047–1058.
- Murry, T. (1971). Subglottal pressure and airflow measures during vocal fry phonation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 14(3), 544–551.
- Murry, T., & Brown, Jr, W. S. (1971). Subglottal air pressure during two types of vocal activity: Vocal fry and modal phonation. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 23(6), 440–449.
- Nanjundeswaran, C., Jacobson, B. H., Gartner-Schmidt, J., & Verdolini Abbott, K. (2015). Vocal Fatigue Index (VFI): Development and validation. *Journal of Voice*, 29(4), 433–440.
- Netsell, R. (1969). Subglottal and intraoral air pressures during the intervocalic contrast of /t/ and /d/. *Phonetica*, 20(2-4), 68–73.
- Netsell, R., & Hixon, T. J. (1978). A noninvasive method for clinically estimating subglottal air pressure. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 43(3), 326–330.
- Nihalani, P. (1975). Air flow rate in the production of stops in Sindhi. *Phonetica*, 31(3-4), 198–205.
- Parker, F. (1974). The coarticulation of vowels and stop consonants. *Journal of Phonetics*, 2(3), 211–221.
- Parnell, M., & Amerman, J. D. (1977). Objective evaluation of articulatory effort. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 20(4), 644–652.
- Perkins, W. H., & Koike, Y. (1969). Patterns of subglottal pressure variations during phonation. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 21(1), 1–8.
- Pinho, C. M. R., Jesus, L. M. T., & Barney, A. (2012). Weak voicing in fricative production. *Journal of Phonetics*, 40(5), 625–638.
- Plant, R. L., Freed, G. L., & Plant, R. E. (2004). Direct measurement of onset and offset phonation threshold pressure in normal subjects. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(6), 3640–3646.
- Plant, R. L., & Hillel, A. D. (1998). Direct measurement of subglottic pressure and laryngeal resistance in normal subjects and in spasmodic dysphonia. *Journal of Voice*, 12(3), 300–314.
- Plexico, L. W., Sandage, M. J., & Faver, K. Y. (2011). Assessment of phonation threshold pressure: A critical review and clinical implications. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 20(4), 348–366.
- Powell, T. W. (2007). A model for ethical practices in clinical phonetics and linguistics. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 21(11-12), 851–857.
- Primov-Fever, A., Lidor, R., Meckel, Y., & Amir, O. (2013). The effect of physical effort on voice characteristics. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 65(6), 288–293.
- Proctor, M. I., Shadle, C. H., & Iskarous, K. (2010). Pharyngeal articulation in the production of voiced and voiceless fricatives. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(3), 1507–1518.
- Proffit, W. R., Palmer, J. M., & Kydd, W. L. (1965). Evaluation of tongue pressures during speech. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 17(2), 115–128.
- Rantala, L., Lindholm, P., & Vilkmán, E. (1998). F0 change due to voice loading under laboratory and field conditions. A pilot study. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 23(4), 164–168.
- Raphael, L. J. (1975). The physiological control of durational differences between vowels preceding voiced and voiceless consonants in English. *Journal of Phonetics*, 3(1), 25–33.

- Redenbaugh, M. A., & Reich, A. R. (1989). Surface EMG and related measures in normal and vocally hyperfunctional speakers. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 54(1), 68–73.
- Riordan, C. J. (1980). Larynx height during English stop consonants. *Journal of Phonetics*, 8, 353–360.
- Rosenthal, A. L., Lowell, S. Y., & Colton, R. H. (2014). Aerodynamic and acoustic features of vocal effort. *Journal of Voice*, 28(2), 144–153.
- Rothenberg, M. (1982). Interpolating subglottal pressure from oral pressure. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 47(2), 219–220.
- Roy, N., Bless, D. M., & Heisey, D. (2000). Personality and voice disorders: A superfactor trait analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(3), 749–768.
- Roy, N., Merrill, R. M., Gray, S. D., & Smith, E. M. (2005). Voice disorders in the general population: Prevalence, risk factors, and occupational impact. *The Laryngoscope*, 115(11), 1988–1995.
- Rubin, A. D., Praneetvatakul, V., Gherson, S., Moyer, C. A., & Sataloff, R. T. (2006). Laryngeal hyperfunction during whispering: Reality or myth? *Journal of Voice*, 21(1), 121–127.
- Rubin, H. J., LeCover, M., & Vennard, W. (1967). Vocal intensity, subglottic pressure and air flow relationship in singers. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 19(6), 393–413.
- Schiefer, L. (1986). F0 in the production and perception of breathy stops: Evidence from Hindi. *Phonetica*, 43(1-3), 43–69.
- Schulman, R. (1989). Articulatory dynamics of loud and normal speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 85, 295–312.
- Schutte, H. K. (1992). Integrated aerodynamic measurements. *Journal of Voice*, 6(2), 127–134.
- Sendlmeier, W. F. (1995). Feature, phoneme, syllable or word: How is speech mentally represented? *Phonetica*, 52(3), 131–143.
- Shadle, C. H., & Scully, C. (1995). An articulatory-acoustic-aerodynamic analysis of [s] in VCV sequences. *Journal of Phonetics*, 23(1-2), 53–66.
- Shipp, T. (1973). Intraoral air pressure and lip occlusion in midvocalic stop consonant production. *Journal of Phonetics*, 1(2), 167–170.
- Shipp, T. (1975). Vertical laryngeal position during continuous and discrete vocal frequency change. *Journal of Speech and Hearing Research*, 18, 707–718.
- Silverman, K. (1986). F0 segmental cues depend on intonation: The case of the rise after voiced stops. *Phonetica*, 43(1-3), 76–91.
- Slis, I. H. (1970). Articulatory measurements on voiced, voiceless and nasal consonants. A test of a model. *Phonetica*, 21(4), 193–210.
- Slis, I. H. (1971). Articulatory effort and its durational and electromyographic correlates. *Phonetica*, 23(3), 171–188.
- Smith, C. L. (1997). The devoicing of /z/ in American English: Effects of local and prosodic context. *Journal of Phonetics*, 25(4), 471–500.
- Smitheran, J. R., & Hixon, T. J. (1981). A clinical method for estimating laryngeal airway resistance during vowel production. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 46(2), 138–146.
- Smith, M. E., Green, D. C., & Berke, G. S. (1991). Pressure-flow relationships during phonation in the canine larynx. *Journal of Voice*, 5(1), 10–17.
- Södersten, M., Hertegård, S., & Hammarberg, B. (1995). Glottal closure, transglottal airflow, and voice quality in healthy middle-aged women. *Journal of Voice*, 9(2), 182–197.
- Solomon, N. P., Garlitz, S. J., & Milbrath, R. L. (2000). Respiratory and laryngeal contributions to maximum phonation duration. *Journal of Voice*, 14(3), 331–340.
- Solomon, N. P., Glaze, L. E., Arnold, R. R., & van Mersbergen, M. (2003). Effects of a vocally fatiguing task and systemic hydration on men's voices. *Journal of Voice*, 17(1), 31–46.
- Solomon, N. P., McCall, G. N., Trosset, M. W., & Gray, W. C. (1989). Laryngeal configuration and constriction during two types of whispering. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 32(1), 161–174.
- Solomon, N. P., Ramanathan, P., & Makashay, M. J. (2007). Phonation threshold pressure across the pitch range: Preliminary test of a model. *Journal of Voice*, 21(5), 541–550.
- Solomon, N. P., & Stemmler DiMattia, M. (2000). Effects of vocally fatiguing task and systemic hydration on phonation threshold pressure. *Journal of Voice*, 14(3), 341–362.
- Sonninen, A., Damsté, P. H., Jol, J., & Fokkens, J. (1972). On vocal strain. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 24(5-6), 321–336.
- Sorensen, D., & Horii, Y. (1984). Frequency characteristics of male and female speakers in the pulse register. *Journal of Communication Disorders*, 17(1), 65–73.
- Stager, S. V., Bielamowicz, S. A., Regnell, J. R., Gupta, A., & Barkmeier, J. M. (2000). Supraglottic activity. Evidence of vocal hyperfunction of laryngeal articulation? *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(1), 229–238.

- Stathopoulos, E. T., Huber, J. E., & Sussman, J. E. (2011). Changes in acoustic characteristics of the voice across the life span: Measures from individuals 4-93 years of age. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 54*(4), 1011–1021.
- Stathopoulos, E. T., & Weismer, G. (1983). Closure duration of stop consonants. *Journal of Phonetics, 11*, 395–400.
- Stathopoulos, E. T., & Weismer, G. (1985a). An aerodynamic study of stress in children and adults. *Journal of Phonetics, 13*, 343–355.
- Stathopoulos, E. T., & Weismer, G. (1985b). Oral airflow and air pressure during speech production: A comparative study of children, youths and adults. *Folia Phoniatica Logopaedica, 37*(3-4), 152–159.
- Stepp, C. E., & Eadie, T. L. (2011). Relative fundamental frequency as an acoustic correlate of vocal effort in spasmodic dysphonia. *The Journal of the Acoustical Society of America, 129*, 2526.
- Stepp, C. E., Heaton, J. T., Braden, M. N., Jetté, M. E., Stadelman-Cohen, T. K., & Hillman, R. E. (2011). Comparison of neck tension palpation rating systems with surface electromyographic and acoustic measures in vocal hyperfunction. *Journal of Voice, 25*(1), 67–75.
- Stepp, C. E., Hillman, R. E., & Heaton, J. T. (2010). The impact of vocal hyperfunction on relative fundamental frequency during voicing offset and onset. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 53*(5), 1220–1226.
- Stepp, C. E., Merchant, G. R., Heaton, J. T., & Hillman, R. E. (2011). Effects of voice therapy on relative fundamental frequency during voicing offset and onset in patients with vocal hyperfunction. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 54*(5), 1260–1266.
- Stepp, C. E., Sawin, D. E., & Eadie, T. L. (2012). The relationship between perception of vocal effort and relative fundamental frequency during voicing offset and onset. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 55*(6), 1887–1896.
- Stevens, K. N. (1989). On the quantal nature of speech. *Journal of Phonetics, 17*, 3–45.
- Stoel-Gammon, C. (2002). Intervocalic consonants in the speech of typically developing children: Emergence and early use. *Clinical Linguistics & Phonetics, 16*(3), 155–168.
- Summers, W. V., Pisoni, D. B., Bernacki, R. H., Pedlow, R. L., & Stokes, M. A. (1988). Effects of noise on speech production: Acoustic and perceptual analyses. *The Journal of the Acoustical Society of America, 84*(3), 917–928.
- Sundberg, J., Scherer, R. C., Hess, M. M., & Müller, F. (2010). Whispering - A single-subject study of glottal configuration and aerodynamics. *Journal of Voice, 24*(5), 574–584.
- Szabo Portela, A., Hammarberg, B., & Södersten, M. (2013). Speaking fundamental frequency and phonation time during work and leisure time in vocally healthy preschool teachers measured with a voice accumulator. *Folia Phoniatica Logopaedica, 65*(2), 84–90.
- Terasawa, R., Hibi, S. R., & Hirano, M. (1987). Mean airflow rates during phonation over a comfortable duration and maximum sustained phonation: Results from 60 normal adult subjects. *Folia Phoniatica Logopaedica, 39*(2), 87–89.
- Titze, I. R. (1988). The physics of small-amplitude oscillation of the vocal folds. *The Journal of the Acoustical Society of America, 83*(4), 1536–1552.
- Traunmüller, H., & Eriksson, A. (2000). Acoustic effects of variation in vocal effort by men, women, and children. *The Journal of the Acoustical Society of America, 107*(6), 3438–3451.
- van den Berg, J. W. (1956). Direct and indirect determination of the mean subglottic pressure. *Folia Phoniatica Logopaedica, 8*(1), 1–24.
- van den Berg, J. W. (1958). Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. *Journal of Speech and Hearing Research, 1*, 227–244.
- van Severen, L., van den Berg, R., Molemans, I., & Gillis, S. (2012). Consonant inventories in the spontaneous speech of young children: A bootstrapping procedure. *Clinical Linguistics & Phonetics, 26*(2), 164–187.
- Verdolini, K., Chan, R., Titze, I. R., Hess, M. M., & Bierhals, W. (1998). Correspondance of electroglottographic closed quotient to vocal fold impact stress in excised canine larynges. *Journal of Voice, 12*(4), 415–423.
- Verdolini, K., Hess, M. M., Titze, I. R., Bierhals, W., & Gross, M. (1999). Investigation of vocal fold impact stress in human subjects. *Journal of Voice, 13*(2), 184–202.
- Verdolini, K., & Ramig, L. O. (2001). Review: Occupational risk for voice problems. *Logopedics Phoniatics Vocology, 26*(1), 37–46.
- Vincent, I., & Gilbert, H. R. (2012). The effects of cigarette smoking on the female voice. *Logopedics Phoniatics Vocology, 37*(1), 22–32.
- Vintturi, J., Alku, P., Sala, E., Sihvo, M., & Vilkmán, E. (2003). Loading-related subjective symptoms during vocal loading test with special reference to gender and some ergonomic factors. *Folia Phoniatica Logopaedica, 55*(2), 55–69.
- Vorperian, H. K., Wang, S., Schimek, E. M., Durtschi, R. B., Kent, R. D., Gentry, L. R., & Chung, M. K. (2011). Developmental sexual dimorphism of the oral and pharyngeal portions of the vocal tract: An imaging study. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 54*(4), 995–1010.

- Warren, D. W., & Hall, D. J. (1973). Glottal activity and intraoral pressure during stop consonant production. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 25(1-2), 121–129.
- Weismer, G. (1980). Control of the voicing distinction for intervocalic stops and fricatives: Some data and theoretical considerations. *Journal of Phonetics*, 8, 427–438.
- Whalen, D. H. (1990). Coarticulation is largely planned. *Journal of Phonetics*, 18(1), 3–35.
- Whalen, D. H., Giulivi, S., Nam, H., Levitt, A. G., Hallé, P. A., & Goldstein, L. M. (2012). Biomechanically preferred consonant-vowel combinations fail to appear in adult spoken corpora. *Language and Speech*, 55(4), 503–515.
- Williams, W. N., Brown, Jr, W. S., Payne, A., Turner, G. E., & Wharton, P. W. (2001). Intraoral air pressure discrimination under conditions of partial and complete resistance. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 53(2), 99–109.
- Williams, W. N., Brown, Jr, W. S., & Turner, G. E. (1987). Intraoral air pressure discrimination by normal-speaking subjects. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 39(4), 196–203.
- Wilson, J. A., Webb, A., Carding, P. N., Steen, I. N., MacKenzie, K., & Deary, I. J. (2004). The Voice Symptom Scale (VoiSS) and the Vocal Handicap Index (VHI): A comparison of structure and content. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences*, 29(2), 169–174.
- Wilson, J. V., & Leeper, Jr, H. A. (1992). Changes in laryngeal airway resistance in young adult men and women as a function of vocal sound pressure and syllable context. *Journal of Voice*, 6(3), 235–245.
- Yamana, T., & Kitajima, K. (2000). Laryngeal closure pressure during phonation in humans. *Journal of Voice*, 14(1), 1–7.
- Yiu, E. M.-L., Yuen, Y.-M., Whitehill, T., & Winkworth, A. (2004). Reliability and applicability of aerodynamic measures in dysphonia assessment. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 18(6-8), 463–478.
- Yoshioka, H., Murase, S., & Uematsu, M. (1996). Palato-lingual contact patterns during voiced and unvoiced consonant production. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 100, 2661.
- Yu, P., Garrel, R., Nicollas, R., Ouaknine, M., & Giovanni, A. (2007). Objective voice analysis in dysphonic patients: New data including nonlinear measurements. *Folia Phoniatica Logopaedica*, 59(1), 20–30.
- Yu, P., Ouaknine, M., Révis, J., & Giovanni, A. (2001). Objective voice analysis for dysphonic patients: A multiparametric protocol including acoustic and aerodynamic measurements. *Journal of Voice*, 15(4), 529–542.
- Zajac, D. J. (1998). Effects of a pressure target on laryngeal airway resistance in children. *Journal of Communication Disorders*, 31(3), 201–213.
- Zhaoyan, Z. (2016). Mechanics of human voice production and control. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140(4), 2614–2635.
- Zraick, R. I., Birdwell, K. Y., & Smith-Olinde, L. (2005). The effect of speaking sample duration on determination of habitual pitch. *Journal of Voice*, 19(2), 197–201.
- Zraick, R. I., Gentry, M. A., Smith-Olinde, L., & Gregg, B. A. (2006). The effect of speaking context on the elicitation of habitual speech. *Journal of Voice*, 20(4), 545–554.
- Zraick, R. I., Skaggs, S. D., & Montague, J. C. (2000). The effect of task on determination of habitual speech. *Journal of Voice*, 14(4), 484–489.

Annexes

Item	Structure				Total	
	#CV	VCV	VC#	#C#		
Consonne	v	319 ; 23,7 ; 1	420 ; 31,3 ; 3	693 ; 51,6 ; 27	861 ; 64,1 ; 41	2.293
	s	464 ; 34,5 ; 4,5	646 ; 48,1 ; 22	640 ; 47,6 ; 21	681 ; 50,7 ; 26	2.431
	t	415 ; 30,9 ; 2	496 ; 36,9 ; 9	678 ; 50,4 ; 24,5	863 ; 64,2 ; 42	2.452
	ʃ	560 ; 41,7 ; 15	587 ; 43,7 ; 17	717 ; 53,3 ; 32	678 ; 50,4 ; 24,5	2.542
	p	476 ; 35,4 ; 8	518 ; 38,5 ; 12	754 ; 56,1 ; 33	900 ; 67,0 ; 44	2.648
	k	464 ; 34,5 ; 4,5	513 ; 38,2 ; 11	785 ; 58,4 ; 35	886 ; 65,9 ; 43	2.648
	d	472 ; 35,1 ; 6	498 ; 37,1 ; 10	713 ; 53,1 ; 31	996 ; 74,1 ; 47	2.679
	z	625 ; 46,5 ; 20	575 ; 42,8 ; 16	705 ; 52,5 ; 29	795 ; 59,2 ; 36	2.700
	b	554 ; 41,2 ; 14	473 ; 35,2 ; 7	809 ; 60,2 ; 38	953 ; 70,9 ; 45	2.789
	f	534 ; 39,7 ; 13	664 ; 49,4 ; 23	829 ; 61,7 ; 39	780 ; 58,0 ; 34	2.807
	g	595 ; 44,3 ; 18	618 ; 46,0 ; 19	855 ; 63,6 ; 40	1.012 ; 75,3 ; 48	3.080
	ʒ	711 ; 52,9 ; 30	703 ; 52,3 ; 28	808 ; 60,1 ; 37	965 ; 71,8 ; 46	3.187
Total	6.189	6.711	8.986	10.370	32.256	

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 153 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de l'item (avec consonnes isolées)

Item	Structure			Total	
	#CV	VCV	VC#		
Consonne	v	72 ; 25,0 ; 1	103 ; 35,8 ; 4	149 ; 51,7 ; 19	324
	s	76 ; 26,4 ; 2	162 ; 56,3 ; 24,5	115 ; 39,9 ; 6,5	353
	t	102 ; 35,4 ; 3	107 ; 37,2 ; 5	151 ; 52,4 ; 20	360
	d	117 ; 40,6 ; 8,5	120 ; 41,7 ; 10	165 ; 57,3 ; 26,5	402
	p	117 ; 40,6 ; 8,5	128 ; 44,4 ; 12,5	170 ; 59,0 ; 12,5	415
	k	115 ; 39,9 ; 6,5	125 ; 43,4 ; 11	176 ; 61,1 ; 31	416
	ʃ	133 ; 46,2 ; 16	128 ; 44,4 ; 12,5	165 ; 57,3 ; 26,5	426
	b	143 ; 49,7 ; 18	130 ; 45,1 ; 14,5	196 ; 68,1 ; 34	469
	f	130 ; 45,1 ; 14,5	155 ; 53,8 ; 22,5	185 ; 64,2 ; 33	470
	z	170 ; 59,0 ; 12,5	155 ; 53,8 ; 22,5	176 ; 61,1 ; 31	501
	g	141 ; 49,0 ; 17	153 ; 53,1 ; 21	208 ; 72,2 ; 35,5	502
	ʒ	162 ; 56,3 ; 24,5	176 ; 61,1 ; 31	208 ; 72,2 ; 35,5	546
Total	1.478	1.642	2.064	5.184	

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 154 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception ; effet de l'item, tous types de parole confondus (sans consonnes isolées)

Item	Structure				Total	
	VCV	#CV	VC#	#C#		
Consonne	v	80 ; 23,8 ; 1	101 ; 30,1 ; 3	139 ; 41,4 ; 15	204 ; 60,7 ; 37	524
	t	98 ; 29,2 ; 2	132 ; 39,3 ; 11	146 ; 43,5 ; 20	220 ; 65,5 ; 40	596
	ʃ	128 ; 38,1 ; 9,5	137 ; 40,8 ; 14	150 ; 44,6 ; 22	199 ; 59,2 ; 36	614
	s	140 ; 41,7 ; 16,5	140 ; 41,7 ; 16,5	163 ; 48,5 ; 25	188 ; 56,0 ; 33	631
	d	128 ; 38,1 ; 9,5	125 ; 37,2 ; 8	173 ; 51,5 ; 28	232 ; 69,0 ; 43,5	658
	p	117 ; 34,8 ; 6,5	117 ; 34,8 ; 6,5	195 ; 58,0 ; 35	232 ; 69,0 ; 43,5	661
	k	110 ; 32,7 ; 4	133 ; 39,6 ; 12	179 ; 53,3 ; 29	262 ; 78,0 ; 47	684
	b	115 ; 34,2 ; 5	152 ; 45,2 ; 23	184 ; 54,8 ; 31	241 ; 71,7 ; 46	692
	ʒ	155 ; 46,1 ; 24	165 ; 49,1 ; 26	144 ; 42,9 ; 18	237 ; 70,5 ; 45	701
	f	145 ; 43,2 ; 19	149 ; 44,3 ; 21	190 ; 56,5 ; 34	223 ; 66,4 ; 42	707
	z	136 ; 40,5 ; 13	184 ; 54,8 ; 31	184 ; 54,8 ; 31	210 ; 62,5 ; 39	714
	g	172 ; 51,2 ; 27	206 ; 61,3 ; 38	222 ; 66,1 ; 41	282 ; 83,9 ; 48	882
Total	1.524	1.741	2.069	2.730	8.064	

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 155 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de l'item (avec consonnes isolées)

Item	Structure				Total	
	VCV	#CV	VC#	#C#		
Consonne	v	94 ; 28,0 ; 2	93 ; 27,7 ; 1	172 ; 51,2 ; 27,5	213 ; 63,4 ; 40	572
	t	103 ; 30,7 ; 4	101 ; 31,1 ; 3	163 ; 48,5 ; 22	207 ; 61,6 ; 38,5	574
	s	146 ; 43,5 ; 17	114 ; 33,9 ; 6	152 ; 45,2 ; 20,5	180 ; 53,6 ; 30	592
	ʃ	138 ; 41,1 ; 15	129 ; 38,4 ; 10,5	172 ; 51,2 ; 27,5	185 ; 55,1 ; 32	624
	k	113 ; 33,6 ; 5	116 ; 34,5 ; 7	164 ; 48,8 ; 23	234 ; 69,6 ; 43,5	627
	z	139 ; 41,4 ; 16	152 ; 45,2 ; 20,5	171 ; 50,9 ; 26	192 ; 57,1 ; 35	654
	f	147 ; 43,8 ; 18	134 ; 39,9 ; 13	199 ; 59,2 ; 36	200 ; 59,5 ; 37	680
	p	130 ; 38,7 ; 12	125 ; 37,2 ; 9	207 ; 61,6 ; 38,5	222 ; 66,1 ; 42	684
	d	129 ; 38,4 ; 10,5	135 ; 40,2 ; 14	186 ; 55,4 ; 33	246 ; 73,2 ; 46	696
	b	118 ; 35,1 ; 8	148 ; 44,0 ; 19	214 ; 63,7 ; 41	251 ; 74,7 ; 47	731
	ʒ	166 ; 49,4 ; 24	173 ; 51,5 ; 29	181 ; 53,9 ; 31	239 ; 71,1 ; 45	759
	g	169 ; 50,3 ; 26	189 ; 56,3 ; 34	234 ; 69,6 ; 43,5	279 ; 83,0 ; 48	871
Total	1.592	1.609	2.215	2.648	8.064	

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 156 : chez les participants communs expériences n°1 et n°3 en parole modale ; effet de l'item, tous types de perception confondus (avec consonnes isolées)

Item	Structure			Total	
	VCV	#CV	VC#		
Consonne	v	92 ; 31,9 ; 2	88 ; 30,6 ; 1	166 ; 57,6 ; 27,5	346
	t	98 ; 34,0 ; 4	97 ; 33,7 ; 3	153 ; 53,1 ; 22	348
	s	135 ; 46,9 ; 17	106 ; 36,8 ; 5	136 ; 47,2 ; 18	377
	k	107 ; 37,2 ; 6	111 ; 38,5 ; 7	161 ; 55,9 ; 24,5	379
	ʃ	128 ; 44,4 ; 14	124 ; 43,1 ; 10	158 ; 54,9 ; 23	410
	z	132 ; 45,8 ; 15	143 ; 49,7 ; 20	165 ; 57,3 ; 26	440
	d	127 ; 44,1 ; 13	133 ; 46,2 ; 16	182 ; 63,2 ; 31	442
	p	126 ; 43,8 ; 12	122 ; 42,4 ; 9	196 ; 68,1 ; 34	444
	f	137 ; 47,6 ; 19	125 ; 43,4 ; 11	186 ; 64,6 ; 32,5	448
	b	116 ; 40,3 ; 8	146 ; 50,7 ; 21	205 ; 71,2 ; 35	467
	ʒ	161 ; 55,9 ; 24,5	170 ; 59,0 ; 29	172 ; 59,7 ; 30	503
	g	166 ; 57,6 ; 27,5	186 ; 64,6 ; 32,5	228 ; 79,2 ; 36	580
Total	1.525	1.551	2.108	5.184	

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 157 : chez les participants communs aux expériences en parole modale n°1 et n°3 ; effet de l'item, tous types de perception confondus (en excluant les consonnes isolées)

	Structure de l'item				Total
	#CV	VCV	VC#	#C#	
Toutes	1.605 ; 23,2 ; 1	2.103 ; 30,4 ; 3	4.354 ; 63,0 ; 3	5.762 ; 83,4 ; 4	13.824

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 158 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure (avec consonnes isolées)

		Structure de l'item				Total
		#CV	VCV	VC#	#C#	
Consigne donnée (P)	Difficile	863 ; 25,0 ; 2	890 ; 25,8 ; 3	2195 ; 63,5 ; 6	2964 ; 85,8 ; 8	6.912
	Facile	742 ; 21,5 ; 1	1213 ; 35,1 ; 4	2159 ; 62,5 ; 5	2798 ; 81,0 ; 7	6.912
Total		1.605	2.103	4.354	5.762	13.824

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 159 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction de la consigne donnée au participant (avec consonnes isolées)

		Structure de l'item				Total
		#CV	VCV	VC#	#C#	
Consonne (M)	v	101 ; 17,5 ; 1	175 ; 30,4 ; 21	378 ; 65,6 ; 34	498 ; 86,5 ; 43	1.152
	s	136 ; 23,6 ; 10	262 ; 45,5 ; 24	348 ; 60,4 ; 27	406 ; 70,5 ; 37	1.152
	t	117 ; 20,3 ; 2,5	172 ; 29,9 ; 19	364 ; 63,2 ; 29	499 ; 86,6 ; 44	1.152
	ʃ	161 ; 28,0 ; 14,5	218 ; 37,8 ; 23	365 ; 63,4 ; 30	408 ; 70,8 ; 38	1.152
	p	118 ; 20,5 ; 4,5	161 ; 28,0 ; 14,5	388 ; 67,4 ; 35	485 ; 84,2 ; 41,5	1.152
	k	120 ; 20,8 ; 6	153 ; 26,6 ; 13	375 ; 65,1 ; 33	504 ; 87,5 ; 45	1.152
	d	122 ; 21,2 ; 7	143 ; 24,8 ; 11	354 ; 61,5 ; 28	533 ; 92,5 ; 48	1.152
	z	197 ; 34,2 ; 20	165 ; 28,6 ; 16,5	319 ; 55,4 ; 25	471 ; 81,8 ; 40	1.152
	b	133 ; 23,1 ; 9	131 ; 22,7 ; 8	366 ; 63,5 ; 31	522 ; 90,6 ; 47	1.152
	f	117 ; 20,3 ; 2,5	212 ; 36,8 ; 22	393 ; 68,2 ; 36	430 ; 74,7 ; 39	1.152
	g	118 ; 20,5 ; 4,5	144 ; 25,0 ; 12	369 ; 64,1 ; 32	521 ; 90,5 ; 46	1.152
ʒ	165 ; 28,6 ; 16,5	167 ; 29,0 ; 18	335 ; 58,2 ; 26	485 ; 84,2 ; 41,5	1.152	
Total		1.605	2.103	4.354	5.762	13.824

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 160 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction de la consonne de l'item (avec consonnes isolées)

		Structure de l'item				Total
		#CV	VCV	VC#	#C#	
Voisement (P)	Non voisée	769 ; 22,3 ; 1	1178 ; 34,1 ; 4	2233 ; 64,6 ; 6	2732 ; 79,1 ; 7	6.912
	Voisée	836 ; 24,2 ; 2	925 ; 26,8 ; 3	2121 ; 61,4 ; 5	3030 ; 87,7 ; 8	6.912
Total		1.605	2.103	4.354	5.762	13.824

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 161 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du voisement de la consonne (avec consonnes isolées)

		Structure de l'item				Total
		#CV	VCV	VC#	#C#	
Mode articulaire (P)	Fricative	877 ; 25,4 ; 2	1199 ; 34,7 ; 4	2138 ; 61,9 ; 5	2698 ; 78,1 ; 7	6.912
	Occlusive	728 ; 21,1 ; 1	904 ; 26,2 ; 3	2216 ; 64,1 ; 6	3064 ; 88,7 ; 8	6.912
Total		1.605	2.103	4.354	5.762	13.824

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 162 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du mode articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)

		Structure de l'item				Total
		#CV	VCV	VC#	#C#	
Lieu articulaire (N)	Antérieure	469 ; 20,4 ; 1	679 ; 29,5 ; 4	1525 ; 66,2 ; 9	1935 ; 84,0 ; 12	4.608
	Médiane	572 ; 24,8 ; 3	742 ; 32,2 ; 6	1385 ; 60,1 ; 7	1909 ; 82,9 ; 10	4.608
	Postérieure	564 ; 24,5 ; 2	682 ; 29,6 ; 5	1444 ; 62,7 ; 8	1918 ; 83,2 ; 11	4.608
Total		1.605	2.103	4.354	5.762	13.824

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction négligeable (N).

Tableau 163 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du lieu articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)

		Structure de l'item			Total
		#CV	VCV	VC#	
Toutes		340 ; 29,5 ; 1	490 ; 42,5 ; 2	898 ; 78,0 ; 3	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 164 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception ; effet de la structure, tous types de parole confondus (sans consonnes isolées)

	Structure de l'item				Total
	#CV	VCV	VC#	#C#	
Toutes	589 ; 34,1 ; 2	372 ; 21,5 ; 1	917 ; 53,1 ; 3	1.578 ; 91,3 ; 4	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 165 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la structure (avec consonnes isolées)

		Structure de l'item				Total
		#CV	VCV	VC#	#C#	
Mode articulaire (P)	Fricative	307 ; 35,5 ; 4	214 ; 24,8 ; 2	435 ; 50,3 ; 5	772 ; 89,4 ; 7	1.728
	Occlusive	282 ; 32,6 ; 3	158 ; 18,3 ; 1	482 ; 55,8 ; 6	806 ; 93,3 ; 8	1.728
Total		589	372	917	1.578	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 166 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du mode articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)

		Structure de l'item				Total
		#CV	VCV	VC#	#C#	
Toutes		457 ; 26,4 ; 2	440 ; 25,5 ; 1	1.063 ; 61,5 ; 3	1.496 ; 86,6 ; 4	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 167 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet de la structure (avec consonnes isolées)

		Structure de l'item				Total
		#CV	VCV	VC#	#C#	
Type de perception (P)	Auto (Exp. n°1)	188 ; 21,8 ; 2	260 ; 30,1 ; 3	575 ; 66,6 ; 6	705 ; 81,6 ; 7	1.728
	Hétéro (Exp. n°3)	269 ; 31,1 ; 4	180 ; 20,8 ; 1	488 ; 56,5 ; 5	791 ; 91,6 ; 8	1.728
Total		457	440	1.063	1.496	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 168 : chez les participants aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet de la structure en fonction du type de perception (avec consonnes isolées)

	Structure de l'item			<i>Total</i>
	#CV	VCV	VC#	
Toutes	399 ; 34,6 ; 2	373 ; 32,4 ; 1	956 ; 83,0 ; 3	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième) ; proches du hasard en grisé.

Tableau 169 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ;
effet de la structure (en excluant les consonnes isolées)

		Consonne de l'item											Total	
		v	s	t	f	p	k	d	z	b	f	g	3	
Total		1.141 ;	1.279 ;	1.300 ;	1.390 ;	1.496 ;	1.496 ;	1.527 ;	1.548 ;	1.637 ;	1.655 ;	1.928 ;	2.035 ;	18.432
		37,1 ;	41,6 ;	42,3 ;	45,2 ;	48,7 ;	48,7 ;	49,7 ;	50,4 ;	53,3 ;	53,9 ;	62,8 ;	66,2 ;	
		1	2	3	4	5,5	5,5	7	8	9	10	11	12	

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 170 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne (avec consonnes isolées)

		Consonne de l'item											Total	
		v	s	t	f	p	k	d	z	b	f	g	3	
Sexe du participant (P)	Femme	540 ;	690 ;	574 ;	685 ;	812 ;	703 ;	791 ;	773 ;	819 ;	834 ;	962 ;	1.033 ;	9.216
		35,2 ;	44,9 ;	37,4 ;	44,6 ;	52,9 ;	45,8 ;	51,5 ;	50,3 ;	53,3 ;	54,3 ;	62,6 ;	67,3 ;	
		1	7	2	6	16	8	14	12	18	20	21	24	
	Homme	601 ;	589 ;	726 ;	705 ;	684 ;	793 ;	736 ;	775 ;	818 ;	821 ;	966 ;	1.002 ;	9.216
		39,1 ;	38,3 ;	47,3 ;	45,9 ;	44,5 ;	51,6 ;	47,9 ;	50,5 ;	53,3 ;	53,5 ;	62,9 ;	65,2 ;	
		4	3	10	9	5	15	11	13	17	19	22	23	
Total		1.141	1.279	1.300	1.390	1.496	1.496	1.527	1.548	1.637	1.655	1.928	2.035	18.432

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 171 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction du sexe du participant (avec consonnes isolées)

		Consonne de l'item											Total	
		v	s	t	f	p	k	d	z	b	f	g	3	
Age du participant (P)	Vieux	541 ;	676 ;	646 ;	704 ;	712 ;	755 ;	736 ;	815 ;	762 ;	882 ;	952 ;	1.035 ;	9.216
		35,2 ;	44,0 ;	42,1 ;	45,8 ;	46,4 ;	49,2 ;	47,9 ;	53,1 ;	49,6 ;	57,4 ;	62,0 ;	67,4 ;	
		1	6	4	8	9	13	11	18	14	20	21	24	
	Jeune	600 ;	603 ;	654 ;	686 ;	784 ;	741 ;	791 ;	733 ;	875 ;	773 ;	976 ;	1.000 ;	9.216
		39,1 ;	39,3 ;	42,6 ;	44,7 ;	51,0 ;	48,2 ;	51,5 ;	47,7 ;	57,0 ;	50,3 ;	63,5 ;	65,1 ;	
		2	3	5	7	16	12	17	10	19	15	22	23	
Total		1.141	1.279	1.300	1.390	1.496	1.496	1.527	1.548	1.637	1.655	1.928	2.035	18.432

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 172 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de l'âge du participant (avec consonnes isolées)

		Consonne de l'item											Total	
		v	s	t	ʃ	p	k	d	z	b	f	g	ʒ	Total
Consigne donnée (P)	Difficile	546 ; 35,5 ; 1	645 ; 42,0 ; 5	599 ; 39,0 ; 3	737 ; 48,0 ; 11	769 ; 50,1 ; 13	713 ; 46,4 ; 8	756 ; 49,2 ; 12	725 ; 47,2 ; 9	865 ; 56,3 ; 20	839 ; 54,6 ; 19	974 ; 63,4 ; 22	1.048 ; 68,2 ; 24	9.216
	Facile	595 ; 38,7 ; 2	634 ; 41,3 ; 4	701 ; 45,6 ; 7	653 ; 42,5 ; 6	727 ; 47,3 ; 10	783 ; 51,0 ; 16	771 ; 50,2 ; 14	823 ; 53,6 ; 18	772 ; 50,3 ; 15	816 ; 53,1 ; 17	954 ; 62,1 ; 21	987 ; 64,3 ; 23	9.216
Total		1.141	1.279	1.300	1.390	1.496	1.496	1.527	1.548	1.637	1.655	1.928	2.035	18.432

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 173 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de la consigne donnée au participant (avec consonnes isolées)

		Consonne de l'item											Total	
		v	s	t	ʃ	p	k	d	z	b	f	g	ʒ	Total
Structure (M)	#CV	218 ; 28,4 ; 1	328 ; 42,7 ; 11	298 ; 38,8 ; 6	399 ; 52,0 ; 30	346 ; 45,1 ; 13	356 ; 46,4 ; 19	350 ; 45,6 ; 14,5	452 ; 58,9 ; 38,5	421 ; 54,8 ; 34	417 ; 54,3 ; 33	477 ; 62,1 ; 43	546 ; 71,1 ; 48	4.608
	VCV	245 ; 31,9 ; 2	384 ; 50,0 ; 27	324 ; 42,2 ; 9,5	369 ; 48,0 ; 25	352 ; 45,8 ; 16,5	365 ; 47,5 ; 24	355 ; 46,2 ; 18	410 ; 53,4 ; 32	342 ; 44,5 ; 12	452 ; 58,9 ; 38,5	474 ; 61,7 ; 42	536 ; 69,8 ; 47	4.608
	VC#	315 ; 41,0 ; 8	292 ; 38,0 ; 5	314 ; 40,9 ; 7	352 ; 45,8 ; 16,5	397 ; 51,7 ; 29	379 ; 49,3 ; 26	359 ; 46,7 ; 20	362 ; 47,1 ; 21	443 ; 57,7 ; 37	436 ; 56,8 ; 36	486 ; 63,3 ; 45	473 ; 61,6 ; 41	4.608
	#C#	363 ; 47,3 ; 22	275 ; 35,8 ; 4	364 ; 47,4 ; 23	270 ; 35,2 ; 3	401 ; 52,2 ; 31	396 ; 51,6 ; 28	463 ; 60,3 ; 40	324 ; 42,2 ; 9,5	431 ; 56,1 ; 35	350 ; 45,6 ; 14,5	491 ; 63,9 ; 46	480 ; 62,5 ; 44	4.608
Total		1.141	1.279	1.300	1.390	1.496	1.496	1.527	1.548	1.637	1.655	1.928	2.035	18.432

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 174 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)

	Consonne de l'item												Total
	v	s	t	d	p	k	f	b	f	z	g	3	
Total	180 ; 31,3 ; 1	209 ; 36,3 ; 2	216 ; 37,5 ; 3	258 ; 44,8 ; 4	271 ; 47,0 ; 5	272 ; 47,2 ; 6	282 ; 49,0 ; 7	325 ; 56,4 ; 8	326 ; 56,6 ; 9	357 ; 62,0 ; 10	358 ; 62,2 ; 11	402 ; 69,8 ; 12	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 175 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception ; effet de la consonne (sans consonnes isolées)

	Consonne de l'item												Total
	v	t	f	s	d	p	k	b	3	f	z	g	
Total	236 ; 30,7 ; 1	308 ; 40,1 ; 2	326 ; 42,4 ; 3	343 ; 44,7 ; 4	370 ; 48,2 ; 5	373 ; 48,6 ; 6	396 ; 51,6 ; 7	404 ; 52,6 ; 8	413 ; 53,8 ; 9	419 ; 54,6 ; 10	426 ; 55,5 ; 11	594 ; 77,3 ; 12	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 176 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la consonne (avec consonnes isolées)

		Consonne de l'item												Total
		v	t	f	s	d	p	k	b	3	f	z	g	
Structure (ns)	#CV	51 ; 26,6 ; 1	84 ; 43,8 ; 15,5	89 ; 46,4 ; 21	88 ; 45,8 ; 19	78 ; 40,6 ; 10	77 ; 40,1 ; 9	88 ; 45,8 ; 19	103 ; 53,6 ; 31	112 ; 58,3 ; 41	107 ; 55,7 ; 36	122 ; 63,5 ; 43	153 ; 79,7 ; 48	1.152
	VCV	53 ; 27,6 ; 2	70 ; 36,5 ; 7	84 ; 43,8 ; 15,5	106 ; 55,2 ; 33	98 ; 51,0 ; 27	90 ; 46,9 ; 22	82 ; 42,7 ; 13	95 ; 49,5 ; 24,5	107 ; 55,7 ; 36	107 ; 55,7 ; 36	113 ; 58,9 ; 42	147 ; 76,6 ; 46	1.152
	VC#	67 ; 34,9 ; 4,5	67 ; 34,9 ; 4,5	79 ; 41,1 ; 11	81 ; 42,2 ; 12	95 ; 49,5 ; 24,5	109 ; 56,8 ; 40	100 ; 52,1 ; 29,5	100 ; 52,1 ; 29,5	88 ; 45,8 ; 19	112 ; 58,3 ; 38	108 ; 56,3 ; 39	146 ; 76,0 ; 45	1.152
	#C#	65 ; 33,9 ; 3	87 ; 45,3 ; 17	74 ; 38,5 ; 8	68 ; 35,4 ; 6	99 ; 51,6 ; 28	97 ; 50,5 ; 26	126 ; 65,6 ; 44	106 ; 55,2 ; 33	106 ; 55,2 ; 33	93 ; 48,4 ; 23	83 ; 43,2 ; 14	148 ; 77,1 ; 47	1.152
Total		236	308	326	343	370	373	396	404	413	419	426	594	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction non significative (ns) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 177 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet de la consonne en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)

	Consonne de l'item												Total
	v	t	s	f	k	z	f	p	d	b	ʒ	g	
Total	284 ; 37,0 ; 1	286 ; 37,2 ; 2	304 ; 39,6 ; 3	336 ; 43,8 ; 4	339 ; 44,1 ; 5	366 ; 47,7 ; 6	392 ; 51,0 ; 7	396 ; 51,6 ; 8	408 ; 53,1 ; 9	443 ; 57,7 ; 10	471 ; 61,3 ; 11	583 ; 75,9 ; 12	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques proche du hasard en grisé.

Tableau 178 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, effet de la consonne (avec consonnes isolées)

		Consonne de l'item												Total
		v	t	s	f	k	z	f	p	d	b	ʒ	g	
Type de perception (P)	Auto (Exp. n°1)	174 ; 45,3 ; 9	145 ; 37,8 ; 4	143 ; 37,2 ; 3	161 ; 41,9 ; 5,5	164 ; 42,7 ; 7	166 ; 43,2 ; 8	186 ; 48,4 ; 12	197 ; 51,3 ; 13	208 ; 54,2 ; 19	227 ; 59,1 ; 21	471 ; 69,3 ; 22	267 ; 69,5 ; 23	2.304
	Hétéro (Exp. n°3)	110 ; 28,6 ; 1	141 ; 36,7 ; 2	161 ; 41,9 ; 5,5	175 ; 45,6 ; 10,5	175 ; 45,6 ; 10,5	200 ; 52,1 ; 15,5	206 ; 53,6 ; 18	199 ; 51,8 ; 14	200 ; 52,1 ; 15,5	216 ; 56,3 ; 20	205 ; 53,4 ; 17	316 ; 82,3 ; 24	2.304
Total		284	286	304	336	339	366	392	396	408	443	471	583	4,608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 179 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, effet de la consonne en fonction du type de perception (avec consonnes isolées)

	Consonne de l'item												Total
	v	t	s	k	f	z	d	p	f	b	ʒ	g	
Total	202 ; 35,1 ; 1	204 ; 35,4 ; 2	233 ; 40,5 ; 3	235 ; 40,8 ; 4	266 ; 46,2 ; 5	296 ; 51,4 ; 6	298 ; 51,7 ; 7	300 ; 52,1 ; 8	304 ; 52,8 ; 9	323 ; 56,1 ; 10	359 ; 62,3 ; 11	436 ; 75,7 ; 12	3.456

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 180 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale, effet de la consonne (sans consonnes isolées)

	Voisement de la consonne		Total
	Non voisée	Voisée	
Toutes	1.672 ; 36,3 ; 1	2.936 ; 63,7 ; 2	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 181 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Age du participant (N)	Vieux	903 ; 39,2 ; 2	1401 ; 60,8 ; 3	2.304
	Jeune	769 ; 33,4 ; 1	1535 ; 66,6 ; 4	2.304
Total		1.672	2.936	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction négligeable (N).

Tableau 182 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de l'âge du participant (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Structure (P)	#CV	416 ; 36,1 ; 2	736 ; 63,9 ; 7	1.152
	VCV	486 ; 42,2 ; 4	666 ; 57,8 ; 5	1.152
	VC#	442 ; 38,4 ; 3	710 ; 61,6 ; 6	1.152
	#C#	328 ; 28,5 ; 1	824 ; 71,5 ; 8	1.152
Total		1.672	2.936	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 183 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Mode articulaire (N)	Fricative	926 ; 40,2 ; 2	1378 ; 59,8 ; 3	2.304
	Occlusive	746 ; 32,4 ; 1	1558 ; 67,6 ; 4	2.304
Total		1.672	2.936	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction négligeable (N).

Tableau 184 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du mode articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Lieu articulaire (P)	Antérieure	811 ; 52,8 ; 4	725 ; 47,2 ; 3	1.536
	Médiane	980 ; 63,8 ; 5	556 ; 36,2 ; 2	1.536
	Postérieure	1145 ; 74,5 ; 6	391 ; 25,5 ; 1	1.536
Total		1.672	2.936	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 185 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du lieu articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne fricative labiodentale		Total
		Non voisée /f/	Voisée /v/	
Toutes		430 ; 56,0 ; 2	338 ; 44,0 ; 1	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 186 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative labiodentale (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne fricative labiodentale		Total
		Non voisée /f/	Voisée /v/	
Structure (M)	#CV	120 ; 62,5 ; 6	72 ; 37,5 ; 3	192
	VCV	134 ; 69,8 ; 8	58 ; 30,2 ; 1	192
	VC#	106 ; 55,2 ; 5	86 ; 44,8 ; 4	192
	#C#	70 ; 36,5 ; 2	122 ; 63,5 ; 7	192
Total		430	338	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : moyenne interaction (L) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 187 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative labiodentale en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne occlusive bilabiale		Total
		Non voisée /p/	Voisée /b/	
Toutes		295 ; 38,4 ; 1	473 ; 61,6 ; 2	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 188 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne occlusive bilabiale (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne occlusive bilabiale		Total
		Non voisée /p/	Voisée /b/	
Structure (P)	#CV	65 ; 33,9 ; 2	127 ; 66,1 ; 7	192
	VCV	94 ; 49,0 ; 4	98 ; 51,0 ; 5	192
	VC#	73 ; 38,0 ; 3	119 ; 62,0 ; 6	192
	#C#	63 ; 32,8 ; 1	129 ; 67,2 ; 8	192
Total		295	473	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 189 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne occlusive bilabiale en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne fricative apico-alvéolaire		Total
		Non voisée /s/	Voisée /z/	
Toutes		292 ; 38,0 ; 1	476 ; 62,0 ; 2	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 190 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative apico-alvéolaire (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne fricative apico-alvéolaire		Total
		Non voisée /s/	Voisée /z/	
Structure (P)	#CV	64 ; 33,3 ; 2	128 ; 66,7 ; 7	192
	VCV	90 ; 46,9 ; 4	102 ; 53,1 ; 5	192
	VC#	79 ; 41,1 ; 3	113 ; 58,9 ; 6	192
	#C#	59 ; 30,7 ; 1	133 ; 69,3 ; 8	192
Total		292	476	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 191 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative apico-alvéolaire (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne occlusive apico-alvéolaire		Total
		Non voisée /t/	Voisée /d/	
Toutes		264 ; 34,4 ; 1	504 ; 65,6 ; 2	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 192 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne occlusive apico-alvéolaire (avec consonnes isolées)

	Voisement de la consonne fricative apico-post-alvéolaire		Total
	Non voisée /ʃ/	Voisée /z/	
Toutes	204 ; 26,6 ; 1	564 ; 73,4 ; 2	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 193 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative apico-post-alvéolaire (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne fricative apico-post-alvéolaire		Total
		Non voisée /ʃ/	Voisée /z/	
Structure (P)	#CV	54 ; 28,1 ; 2	138 ; 71,9 ; 7	192
	VCV	59 ; 30,7 ; 4	133 ; 69,3 ; 5	192
	VC#	58 ; 30,2 ; 3	134 ; 69,8 ; 6	192
	#C#	33 ; 17,2 ; 1	159 ; 82,8 ; 8	192
Total		204	564	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 194 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne fricative apico-post-alvéolaire (avec consonnes isolées)

	Voisement de la consonne occlusive dorso-vélaire		Total
	Non voisée /k/	Voisée /g/	
Toutes	219 ; 28,5 ; 1	549 ; 71,5 ; 2	768

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 195 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du voisement de la consonne occlusive dorso-vélaire (avec consonnes isolées)

	Voisement de la consonne		Total
	Non voisée	Voisée	
Toutes	274 ; 31,7 ; 1	590 ; 68,3 ; 2	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 196 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception ; effet du voisement (sans consonnes isolées)

	Voisement de la consonne		Total
	Non voisée	Voisée	
Toutes	426 ; 37,0 ; 1	726 ; 63,0 ; 2	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 197 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Participation à l'expérience n°1 (N)	Oui	191 ; 33,2 ; 1	385 ; 66,8 ; 4	576
	Non	235 ; 40,8 ; 2	341 ; 59,2 ; 3	576
Total		426	726	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N).

Tableau 198 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction de la participation à l'expérience n°1 d'auto-perception (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Mode articulaire (P)	Fricative	249 ; 43,2 ; 2	327 ; 56,8 ; 3	576
	Occlusive	177 ; 30,7 ; 1	399 ; 69,3 ; 4	576
Total		426	726	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 199 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du mode articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Lieu articulaire (P)	Antérieure	183 ; 47,7 ; 3	201 ; 52,3 ; 4	384
	Médiane	129 ; 33,6 ; 2	255 ; 66,4 ; 5	384
	Postérieure	114 ; 29,7 ; 1	270 ; 70,3 ; 6	384
Total		426	726	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 200 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du lieu articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Toutes		319 ; 27,7 ; 1	833 ; 72,3 ; 2	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 201 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du voisement (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Type de perception (P)	Auto (Exp. n°1)	128 ; 22,2 ; 1	448 ; 77,8 ; 4	576
	Hétéro (Exp. n°3)	191 ; 33,2 ; 2	385 ; 66,8 ; 3	576
Total		319	833	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 202 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du voisement en fonction du type de perception (avec consonnes isolées)

		Voisement de la consonne		Total
		Non voisée	Voisée	
Toutes		240 ; 27,8 ; 1	624 ; 72,2 ; 2	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 203 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du voisement (en excluant les consonnes isolées)

		Mode articulaire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Toutes		2.136 ; 46,4 ; 1	2.472 ; 53,6 ; 2	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 204 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire (avec consonnes isolées)

		Mode articulaire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Age du participant (P)	Vieux	1197 ; 52,0 ; 3	1107 ; 48,0 ; 2	2.304
	Jeune	939 ; 40,8 ; 1	1365 ; 59,2 ; 4	2.304
Total		2.136	2.472	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 205 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articulaire en fonction de l'âge du participant (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Structure (M)	#CV	632 ; 54,9 ; 5	520 ; 45,1 ; 4	1.152
	VCV	668 ; 58,0 ; 7	484 ; 42,0 ; 2	1.152
	VC#	502 ; 43,6 ; 3	650 ; 56,4 ; 6	1.152
	#C#	334 ; 29,0 ; 1	818 ; 71,0 ; 8	1.152
Total		2.136	2.472	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 206 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Lieu articuloire (N)	Antérieure	663 ; 43,2 ; 1	873 ; 56,8 ; 6	1.536
	Médiane	719 ; 46,8 ; 2	817 ; 53,2 ; 5	1.536
	Postérieure	754 ; 49,1 ; 3	782 ; 50,9 ; 4	1.536
Total		2.136	2.472	4.608

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 207 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du lieu articuloire de la consonne (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne apico-alvéolaire		Total
		Fricative	Occlusive	
Toutes		719 ; 46,8 ; 1	817 ; 53,2 ; 2	1.536

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 208 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire, pour les consonnes apico-alvéolaires (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne apico-alvéolaire		Total
		Fricative	Occlusive	
Sexe du participant (N)	Femme	388 ; 50,5 ; 3	380 ; 49,5 ; 2	768
	Homme	331 ; 43,1 ; 1	437 ; 56,9 ; 4	768
Total		719	817	1.536

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 209 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de la du sexe du participant, pour les consonnes apico-alvéolaires (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne apico-alvéolaire		Total
		Fricative	Occlusive	
Age du participant (N)	Femme	401; 52,2; 3	367; 47,8; 2	768
	Homme	318; 41,4; 1	450; 58,6; 4	768
Total		719	817	1.536

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
 Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 210 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de la de l'âge du participant, pour les consonnes apico-alvéolaires (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Structure (G)	#CV	226 ; 58,9 ; 6	158 ; 41,1 ; 3	384
	VCV	235 ; 61,2 ; 7	149 ; 38,8 ; 2	384
	VC#	169 ; 44,0 ; 4	215 ; 56,0 ; 5	384
	#C#	89 ; 23,2 ; 1	295 ; 76,8 ; 8	384
Total		719	817	1.536

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
 Résultats statistiques : grande interaction (G) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 211 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de la structure de l'item, pour les consonnes apico-alvéolaire (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Toutes		435 ; 37,8 ; 1	717 ; 62,2 ; 2	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 212 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Participation à l'expérience n°1 (N)	Oui	193 ; 33,5 ; 1	383 ; 66,5 ; 4	576
	Non	242 ; 42,0 ; 2	334 ; 58,0 ; 3	576
Total		435	717	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
 Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 213 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de la participation préalable à l'expérience n°1 d'auto-perception (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Structure (M)	#CV	137 ; 47,6 ; 3	151 ; 52,4 ; 6	288
	VCV	138 ; 47,9 ; 4	150 ; 52,1 ; 5	288
	VC#	103 ; 35,8 ; 2	185 ; 64,2 ; 7	288
	#C#	57 ; 19,8 ; 1	231 ; 80,2 ; 8	288
Total		435	717	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : moyenne interaction (M) ; proche du hasard en grisé..

Tableau 214 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Voisement (P)	Non voisée	263 ; 45,7 ; 2	313 ; 54,3 ; 3	576
	Voisée	172 ; 29,9 ; 1	404 ; 70,1 ; 4	576
Total		435	717	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 215 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du voisement de la consonne (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Lieu articuloire (P)	Antérieure	141 ; 36,7 ; 2	243 ; 63,3 ; 5	384
	Médiane	177 ; 46,1 ; 3	207 ; 53,9 ; 4	384
	Postérieure	117 ; 30,5 ; 1	267 ; 69,5 ; 6	384
Total		435	717	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 216 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du lieu articuloire de la consonne (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Toutes		425 ; 36,9 ; 1	727 ; 63,1 ; 2	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 217 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du mode articuloire (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Type de perception (ns)	Auto (Exp. n°1)	232 ; 40,3 ; 2	344 ; 59,7 ; 3	576
	Hétéro (Exp. n°3)	193 ; 33,5 ; 1	383 ; 66,5 ; 4	576
Total		425	727	1.152

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction non significative (ns).

Tableau 218 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du mode articuloire en fonction du type de perception (avec consonnes isolées)

		Mode articuloire de la consonne		Total
		Fricative	Occlusive	
Toutes		364 ; 42,1 ; 1	500 ; 57,9 ; 2	864

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 219 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du mode articuloire (en excluant les consonnes isolées)

		Lieu articuloire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Toutes		2.857 ; 46,5 ; 2	2.582 ; 42,0 ; 1	3.777 ; 61,5 ; 3	9.216

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 220 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire (avec consonnes isolées)

		Lieu articuloire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Age du participant (N)	Vieux	1361 ; 44,3 ; 3	1337 ; 43,5 ; 2	1910 ; 62,2 ; 6	4.608
	Jeune	1496 ; 48,7 ; 4	1245 ; 40,5 ; 1	1867 ; 60,8 ; 5	4.608
Total		2.857	2.582	3.777	9.216

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 221 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articuloire en fonction de l'âge du participant (avec consonnes isolées)

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Consigne donnée (N)	Difficile	1483 ; 48,3 ; 4	1189 ; 38,7 ; 1	1936 ; 63,0 ; 6	4.608
	Facile	1374 ; 44,7 ; 2	1393 ; 45,3 ; 3	1841 ; 59,9 ; 5	4.608
Total		2.857	2.582	3.777	9.216

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 222 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction de la consigne donnée au participant (avec consonnes isolées)

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Structure (P)	#CV	634 ; 41,3 ; 3	660 ; 43,0 ; 5	1.010 ; 65,8 ; 12	2.304
	VCV	623 ; 40,6 ; 2	705 ; 45,9 ; 6	976 ; 63,5 ; 11	2.304
	VC#	823 ; 53,6 ; 8	559 ; 36,4 ; 1	922 ; 60,0 ; 10	2.304
	#C#	777 ; 50,6 ; 7	658 ; 42,8 ; 4	869 ; 56,6 ; 9	2.304
Total		2.857	2.582	3.777	9.216

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 223 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Voisement (P)	Non voisée	1658 ; 54,0 ; 4	1255 ; 40,9 ; 2	1695 ; 55,2 ; 5	4.608
	Voisée	1199 ; 39,0 ; 1	1327 ; 43,2 ; 3	2082 ; 67,8 ; 6	4.608
Total		2.857	2.582	3.777	9.216

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P).

Tableau 224 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction du voisement de la consonne (avec consonnes isolées)

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Mode articulaire (N)	Fricative	1365 ; 44,4 ; 3	1340 ; 43,6 ; 2	1903 ; 61,9 ; 6	4.608
	Occlusives	1492 ; 48,6 ; 4	1242 ; 40,4 ; 1	1874 ; 61,0 ; 5	4.608
Total		2.857	2.582	3.777	9.216

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 225 : expérience n°1 d'auto-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction du mode articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)

	Lieu articulaire de la consonne			Total
	Antérieure	Médiane	Postérieure	
Toutes	526 ; 45,7 ; 2	464 ; 40,3 ; 1	738 ; 64,1 ; 3	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième) ; proches du hasard en grisé.

Tableau 226 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°2 d'auto-perception ; effet du lieu articulaire (sans consonnes isolées)

	Lieu articulaire de la consonne			Total
	Antérieure	Médiane	Postérieure	
Toutes	664 ; 43,2 ; 1	679 ; 44,2 ; 2	961 ; 62,6 ; 3	2.304

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Tableau 227 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire (avec consonnes isolées)

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Sexe du participant (N)	Femme	297 ; 38,7 ; 1	350 ; 45,6 ; 3	505 ; 65,8 ; 6	1.152
	Homme	367 ; 47,8 ; 4	329 ; 42,8 ; 2	456 ; 59,4 ; 5	1.152
Total		664	679	961	2.304

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : interaction négligeable (N) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 228 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction du sexe du participant (avec consonnes isolées)

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Structure (P)	#CV	146 ; 38,0 ; 2	180 ; 46,9 ; 6	250 ; 65,1 ; 11	576
	VCV	153 ; 39,8 ; 3	195 ; 50,8 ; 7	228 ; 59,4 ; 10	576
	VC#	196 ; 51,0 ; 8	159 ; 41,4 ; 4	221 ; 57,6 ; 9	576
	#C#	169 ; 44,0 ; 5	145 ; 37,8 ; 1	262 ; 68,2 ; 12	576
Total		664	679	961	2.304

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).
Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 229 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction de la structure de l'item (avec consonnes isolées)

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Voisement (P)	Non voisée	417 ; 54,3 ; 5	330 ; 43,0 ; 2	405 ; 52,7 ; 4	1.152
	Voisée	247 ; 32,2 ; 1	349 ; 45,4 ; 3	556 ; 72,4 ; 6	1.152
Total		664	679	961	2.304

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 230 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction du voisement de la consonne (avec consonnes isolées)

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Mode articulaire (P)	Fricative	322 ; 41,9 ; 2	400 ; 52,1 ; 4	430 ; 56,0 ; 5	1.152
	Occlusive	342 ; 44,5 ; 3	279 ; 36,3 ; 1	531 ; 69,1 ; 6	1.152
Total		664	679	961	2.304

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : petite interaction (P) ; proche du hasard en grisé.

Tableau 231 : expérience n°3 d'hétéro-perception en parole modale ; effet du lieu articulaire en fonction du mode articulaire de la consonne (avec consonnes isolées)

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Toutes		747 ; 48,6 ; 2	596 ; 38,8 ; 1	961 ; 62,6 ; 3	2.304

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 232 : chez les participants communs aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du lieu articulaire (avec consonnes isolées)

		Lieu articulaire de la consonne			Total
		Antérieure	Médiane	Postérieure	
Toutes		553 ; 48,0 ; 2	455 ; 39,5 ; 1	720 ; 62,5 ; 3	1.728

Données perceptives : nombre de fois où l'item a été perçu comme difficile (première) ; pourcentage de fois où l'item a été perçu comme difficile (deuxième) ; rang occupé par l'item sur une échelle allant du plus facile au plus difficile (troisième).

Résultats statistiques : proche du hasard en grisé.

Tableau 233 : chez les participants aux expériences n°1 et n°3 de perception en parole modale ; effet du lieu articulaire (en excluant les consonnes isolées)

♀ ₁		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,238)=1.554 ; p<0,0001 ; η ² =0,87	F(1,238)=176 ; p<0,0001 ; η ² =0,43	F(1,238)=11 ; p=0,0009 ; η ² =0,05 (P)
		Fort	F(1,238)=2.498 ; p<0,0001 ; η ² =0,91	F(1,238)=1.588 ; p<0,0001 ; η ² =0,87	F(1,238)=561 ; p<0,0001 ; η ² =0,70
	Hauteur	Grave	F(1,238)=1.134 ; p<0,0001 ; η ² =0,83	F(1,238)=271 ; p<0,0001 ; η ² =0,53	F(1,238)=45 ; p<0,0001 ; η ² =0,16
		Aigu	F(1,238)=25 ; p<0,0001 ; η ² =0,09 (M)	F(1,236)=13.372 ; p<0,0001 ; η ² =0,98	F(1,236)=1 ; p=0,24
	Qualité	Soufflé	F(1,238)=1.179 ; p<0,0001 ; η ² =0,83	F(1,237)=522 ; p<0,0001 ; η ² =0,69	F(1,237)=63 ; p=0,0009 ; η ² =0,51
		Pressé	F(1,238)=339 ; p<0,0001 ; η ² =0,62	F(1,237)=821 ; p<0,0001 ; η ² =0,78	F(1,237)=88 ; p=0,0009 ; η ² =0,27

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η²) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) ; petit effet (P) ou moyen effet (M) en grisé (gris clair).

Tableau 234 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme ♀₁

♀ ₂		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,233)=684 ; p<0,0001 ; η ² =0,75	F(1,232)=142 ; p<0,0001 ; η ² =0,38	F(1,232)=348 ; p<0,0001 ; η ² =0,60
		Fort	F(1,233)=1.314 ; p<0,0001 ; η ² =0,85	F(1,232)=9.292 ; p<0,0001 ; η ² =0,98	F(1,232)=898 ; p<0,0001 ; η ² =0,79
	Hauteur	Grave	F(1,233)=218 ; p<0,0001 ; η ² =0,48	F(1,233)=127 ; p<0,0001 ; η ² =0,35	F(1,233)=12 ; p=0,0006 ; η ² =0,05 (P)
		Aigu	F(1,233)=756 ; p<0,0001 ; η ² =0,76	F(1,233)=5.806 ; p<0,0001 ; η ² =0,96	F(1,233)=49 ; p=0,0006 ; η ² =0,17
	Qualité	Soufflé	F(1,233)=400 ; p<0,0001 ; η ² =0,63	F(1,231)=99 ; p<0,0001 ; η ² =0,30	F(1,231)=458 ; p=0,0006 ; η ² =0,66
		Pressé	F(1,233)=272 ; p<0,0001 ; η ² =0,54	F(1,233)=1.397 ; p<0,0001 ; η ² =0,86	F(1,233)=156 ; p=0,0006 ; η ² =0,40

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η²) ; petit effet (P) en grisé.

Tableau 235 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme ♀₂

♀ ₃		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,238)=408 ; p<0,0001 ; η ² =0,63	F(1,238)=65 ; p<0,0001 ; η ² =0,21	F(1,238)=1.041 ; p=0,0006 ; η ² =0,81
		Fort	F(1,238)=2.365 ; p<0,0001 ; η ² =0,91	F(1,235)=11.040 ; p<0,0001 ; η ² =0,98	F(1,235)=1.422 ; p=0,0006 ; η ² =0,86
	Hauteur	Grave	F(1,238)=57 ; p<0,0001 ; η ² =0,19	F(1,237)=981 ; p<0,0001 ; η ² =0,81	F(1,237)=18 ; p=0,0006 ; η ² =0,07 (M)
		Aigu	F(1,238)=212 ; p<0,0001 ; η ² =0,47	F(1,237)=2.463 ; p<0,0001 ; η ² =0,91	F(1,237)=267 ; p=0,0006 ; η ² =0,53
	Qualité	Soufflé	F(1,238)=258 ; p<0,0001 ; η ² =0,52	F(1,233)=12 ; p=0,0006 ; η ² =0,05 (P)	F(1,233)=825 ; p<0,0001 ; η ² =0,78
		Pressé	F(1,228)=528 ; p<0,0001 ; η ² =0,70	F(1,228)=1.896 ; p<0,0001 ; η ² =0,89	F(1,228)=222 ; p<0,0001 ; η ² =0,49

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η²) ; petit effet (P) ou moyen effet (M) en grisé.

Tableau 236 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme ♀₃

♀ ₄		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,224)=541 ; p<0,0001 ; η ² =0,71	F(1,223)=210 ; p<0,0001 ; η ² =0,48	F(1,223)=111 ; p<0,0001 ; η ² =0,33
		Fort	F(1,228)=1.706 ; p<0,0001 ; η ² =0,88	F(1,225)=180 ; p<0,0001 ; η ² =0,44	F(1,225)=34 ; p<0,0001 ; η ² =0,13 (M)
	Hauteur	Grave	F(1,229)=25 ; p<0,0001 ; η ² =0,10 (M)	F(1,228)=4 ; p=0,04	F(1,228)=1 ; p=0,34
		Aigu	F(1,229)=15 ; p=0,0001 ; η ² =0,063 (M)	F(1,225)=221 ; p<0,0001 ; η ² =0,50	F(1,225)=4 ; p=0,04
	Qualité	Soufflé	F(1,224)=33 ; p<0,0001 ; η ² =0,13 (M)	F(1,219)=556 ; p<0,0001 ; η ² =0,72	F(1,219)=211 ; p<0,0001 ; η ² =0,49
		Pressé	F(1,230)=302 ; p<0,0001 ; η ² =0,57	F(1,228)=37 ; p<0,0001 ; η ² =0,141	F(1,228)=26 ; p<0,0001 ; η ² =0,10 (M)

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η²) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) ; moyen effet (M) en grisé (gris clair).

Tableau 237 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme ♀₄

φ_5		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,238)=3.577 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,94$	F(1,238)=227 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,49$	F(1,238)=1 ; p=0,47
		Fort	F(1,238)=616 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,72$	F(1,238)=607 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,72$	F(1,238)=9 ; p=0,002 ; $\eta^2=0,04$ (P)
	Hauteur	Grave	F(1,238)=516 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,68$	F(1,238)=4.912 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,95$	F(1,238)=642 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,73$
		Aigu	F(1,238)=4 ; p=0,04	F(1,238)=7.390 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,97$	F(1,238)=207 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,47$
	Qualité	Soufflé	F(1,238)=1.848 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,89$	F(1,215)=4.187 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,95$	F(1,215)=1.074 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,83$
		Pressé	F(1,238)=53 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,18$	F(1,238)=1.034 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,81$	F(1,238)=150 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,39$

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η^2) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) ; petit effet (P) en grisé (gris clair).

Tableau 238 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme φ_5

φ_6		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,238)=3.458 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,94$	F(1,238)=252 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,51$	F(1,238)=6 ; p=0,017 ; $\eta^2=0,02$
		Fort	F(1,237)=0 ; p=0,62	F(1,237)=190 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,44$	F(1,237)=4 ; p=0,04
	Hauteur	Grave	F(1,238)=879 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,79$	F(1,238)=7.042 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,97$	F(1,238)=254 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,52$
		Aigu	F(1,238)=586 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,71$	F(1,236)=20.301 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,98$	F(1,236)=531 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,69$
	Qualité	Soufflé	F(1,238)=1.965 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,89$	F(1,238)=159 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,40$	F(1,238)=0 ; p=0,85
		Pressé	F(1,238)=218 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,48$	F(1,238)=113 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,32$	F(1,238)=17 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,07$ (M)

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η^2) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) ; moyen effet (M) en grisé (gris clair).

Tableau 239 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez la femme φ_6

σ_1		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,238)=39 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,142$	F(1,238)=3.674 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,94$	F(1,238)=128 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,35$
		Fort	F(1,238)=7.438 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,97$	F(1,236)=16.694 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,99$	F(1,236)=148 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,39$
	Hauteur	Grave	F(1,238)=889 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,79$	F(1,237)=750 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,76$	F(1,237)=306 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,56$
		Aigu	F(1,239)=1.559 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,87$	F(1,239)=36.517 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,99$	F(1,239)=276 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,54$
	Qualité	Soufflé	F(1,238)=10 ; p=0,002 ; $\eta^2=0,04$ (P)	F(1,238)=908 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,79$	F(1,238)=156 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,40$
		Pressé	F(1,238)=1.334 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,85$	F(1,238)=903 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,79$	F(1,238)=75 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,24$

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η^2) ; petit effet (P) en grisé.

Tableau 240 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme σ_1

σ_2		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,238)=191 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,44$	F(1,238)=19 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,07$ (M)	F(1,238)=36 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,13$ (M)
		Fort	F(1,238)=3.806 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,94$	F(1,238)=4.934 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,95$	F(1,238)=260 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,52$
	Hauteur	Grave	F(1,238)=339 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,59$	F(1,238)=8 ; p=0,005 ; $\eta^2=0,03$ (P)	F(1,238)=1 ; p=0,31
		Aigu	F(1,238)=130 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,35$	F(1,238)=6.091 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,96$	F(1,238)=31 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,12$ (M)
	Qualité	Soufflé	F(1,238)=160 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,40$	F(1,236)=0 ; p=0,55	F(1,236)=67 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,22$
		Pressé	F(1,237)=1.206 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,84$	F(1,237)=517 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,69$	F(1,237)=34 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,12$ (M)

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η^2) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) ; petit effet (P) ou moyen effet (M) en grisé (gris clair).

Tableau 241 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme σ_2

σ_3		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,238)=1.893 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,89$	F(1,236)=3.115 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,93$	F(1,236)=2 ; p=0,19
		Fort	F(1,238)=8.754 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,97$	F(1,238)=17 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,07$ (M)	F(1,238)=21 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,08$ (M)
	Hauteur	Grave	F(1,238)=7 ; p=0,007 ; $\eta^2=0,03$ (P)	F(1,238)=2.497 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,91$	F(1,238)=90 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,27$
		Aigu	F(1,238)=197 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,45$	F(1,235)=12.534 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,98$	F(1,235)=4 ; p=0,04
	Qualité	Soufflé	F(1,238)=536 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,69$	F(1,237)=1.405 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,86$	F(1,237)=520 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,69$
		Pressé	F(1,238)=79 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,25$	F(1,238)=3 ; p=0,08	F(1,238)=9 ; p=0,003 ; $\eta^2=0,04$ (P)

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η^2) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) ; petit effet (P) ou moyen effet (M) en grisé (gris clair).

Tableau 242 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme σ_3

σ_4		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,238)=1.531 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,87$	F(1,238)=34 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,13$ (M)	F(1,238)=643 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,73$
		Fort	F(1,238)=637 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,73$	F(1,238)=1.680 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,88$	F(1,238)=93 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,28$
	Hauteur	Grave	F(1,238)=324 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,58$	F(1,238)=119 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,33$	F(1,238)=0 ; p=0,79
		Aigu	F(1,238)=10 ; p=0,002 ; $\eta^2=0,04$ (P)	F(1,238)=2.994 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,93$	F(1,238)=385 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,62$
	Qualité	Soufflé	F(1,239)=668 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,74$	F(1,239)=249 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,51$	F(1,239)=704 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,75$
		Pressé	F(1,238)=1.505 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,86$	F(1,238)=282 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,54$	F(1,238)=215 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,47$

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η^2) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) petit effet (P) ou moyen effet (M) en grisé (gris clair).

Tableau 243 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme σ_4

σ_5		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,243)=887 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,78$	F(1,241)=4 ; p=0,04	F(1,241)=546 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,69$
		Fort	F(1,238)=222 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,48$	F(1,236)=535 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,69$	F(1,236)=241 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,51$
	Hauteur	Grave	F(1,238)=717 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,75$	F(1,236)=1.945 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,89$	F(1,236)=35 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,13$ (M)
		Aigu	F(1,238)=4.112 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,95$	F(1,236)=3.261 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,93$	F(1,236)=163 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,41$
	Qualité	Soufflé	F(1,238)=2.758 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,92$	F(1,236)=2.937 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,93$	F(1,236)=330 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,58$
		Pressé	F(1,236)=244 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,51$	F(1,233)=5.280 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,96$	F(1,233)=135 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,37$

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η^2) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) ; moyen effet (M) en grisé (gris clair).

Tableau 244 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme σ_5

σ_6		Mesures acoustiques			
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)	
Consigne	Intensité	Faible	F(1,167)=595 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,78$	F(1,167)=1 ; p=0,36	F(1,167)=86 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,34$
		Fort	F(1,229)=7.590 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,97$	F(1,229)=3.110 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,93$	F(1,229)=246 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,52$
	Hauteur	Grave	F(1,178)=34 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,16$	F(1,178)=3.416 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,95$	F(1,178)=255 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,59$
		Aigu	F(1,232)=8.080 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,97$	F(1,230)=1.913 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,89$	F(1,230)=35 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,13$ (M)
	Qualité	Soufflé	F(1,189)=1.297 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,87$	F(1,189)=110 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,37$	F(1,189)=110 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,37$
		Pressé	F(1,173)=2.344 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,93$	F(1,173)=361 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,68$	F(1,173)=77 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,31$

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η^2) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) ; moyen effet (M) en grisé (gris clair).

Tableau 245 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle en fonction de la consigne donnée, chez l'homme σ_6

Femmes		Mesures acoustiques		
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Voix	Forte-aigüe-pressée (F+ ; n=9)	F(1,1.774)=1.454 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,45$	F(1,1.766)=2.457 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,58$	F(1,1.766)=606 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,26$
	Faible-grave-pressée (Tf ; n=3)	F(1,1.059)=1.656 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,61$	F(1,1.057)=1.480 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,58$	F(1,1.057)=518 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,33$
	Faible-grave-soufflée (F- ; n=5)	F(1,1.304)=96 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,07$ (M)	F(1,1.278)=327 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,20$	F(1,1.278)=1.321 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,51$

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.
 Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η^2) ; moyen effet (M) en grisé.

Tableau 246 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les types de voix sélectionnés, chez les femmes

hommes		Mesures acoustiques		
		SPL (dB)	F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Voix	Forte-aigüe-pressée (F+ ; n=9)	F(1,1.732)=529 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,23$	F(1,1.728)=540 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,24$	F(1,1.728)=316 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,15$
	Faible-aigüe-soufflée (Tm ; n=3)	F(1,1.189)=214 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,15$	F(1,1.186)=869 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,42$	F(1,1.186)=667 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,36$
	Faible-grave-soufflée (F- ; n=5)	F(1,952)=33 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,03$ (P)	F(1,949)=7 ; p=0,008 ; $\eta^2=0,008$ (N)	F(1,949)=549 ; p<0,0001 ; $\eta^2=0,37$

Mesures acoustiques : niveau de pression sonore (SPL) en décibels (dB) évaluant l'intensité ; fréquence fondamentale (F0) en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) en dB évaluant la qualité.
 Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η^2) ; effet négligeable (N) ou petit effet (P) en grisé.

Tableau 247 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les types de voix sélectionnés, chez les hommes

Aigu		Paramètres acoustiques	
		F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Femmes	♀ ₁	F(1,243)=4.942 ; p<0,0001 ; η ² =0,95	F(1,243)=224 ; p<0,0001 ; η ² =0,48
	♀ ₂	F(1,263)=2.597 ; p<0,0001 ; η ² =0,91	F(1,263)=150 ; p<0,0001 ; η ² =0,36
	♀ ₃	F(1,249)=3.874 ; p<0,0001 ; η ² =0,94	F(1,249)=23 ; p<0,0001 ; η ² =0,09 (M)
	♀ ₄	F(1,261)=3.104 ; p<0,0001 ; η ² =0,92	F(1,261)=0 ; p=0,84
	♀ ₅	F(1,240)=2.812 ; p<0,0001 ; η ² =0,92	F(1,240)=289 ; p<0,0001 ; η ² =0,55
	♀ ₆	F(1,274)=3.994 ; p<0,0001 ; η ² =0,94	F(1,274)=4 ; p=0,04
	♀ ₇	F(1,271)=9.228 ; p<0,0001 ; η ² =0,97	F(1,271)=95 ; p<0,0001 ; η ² =0,26
	♀ ₈	F(1,252)=15.443 ; p<0,0001 ; η ² =0,98	F(1,252)=75 ; p<0,0001 ; η ² =0,23
	♀ ₉	F(1,264)=9.060 ; p<0,0001 ; η ² =0,97	F(1,236)=506 ; p<0,0001 ; η ² =0,66
	♀ ₁₀	F(1,274)=2.220 ; p<0,0001 ; η ² =0,89	F(1,274)=1 ; p=0,29
	♀ ₁₁	F(1,279)=5.861 ; p<0,0001 ; η ² =0,95	F(1,279)=180 ; p<0,0001 ; η ² =0,39
	♀ ₁₂	F(1,262)=4.024 ; p<0,0001 ; η ² =0,94	F(1,262)=348 ; p<0,0001 ; η ² =0,57

Données acoustiques : fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en décibels (dB) évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η²) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) ; moyen effet (M) en grisé (gris clair).

Tableau 248 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle, chez les femmes

Aigu		Paramètres acoustiques	
		F0 (dT)	H1-H2 (dB)
Hommes	♂ ₁	F(1,166)=1.681 ; p<0,0001 ; η ² =0,91	F(1,166)=12 ; p=0,0006 ; η ² =0,07 (M)
	♂ ₂	F(1,164)=89 ; p<0,0001 ; η ² =0,35	F(1,164)=2 ; p=0,12
	♂ ₃	F(1,251)=13.104 ; p<0,0001 ; η ² =0,98	F(1,251)=0 ; p=0,89
	♂ ₄	F(1,269)=1.735 ; p<0,0001 ; η ² =0,87	F(1,269)=34 ; p<0,0001 ; η ² =0,11 (M)
	♂ ₅	F(1,272)=5.589 ; p<0,0001 ; η ² =0,95	F(1,272)=47 ; p<0,0001 ; η ² =0,15
	♂ ₆	F(1,176)=9.870 ; p<0,0001 ; η ² =0,98	F(1,176)=255 ; p<0,0001 ; η ² =0,59
	♂ ₇	F(1,225)=308 ; p<0,0001 ; η ² =0,58	F(1,225)=57 ; p<0,0001 ; η ² =0,20
	♂ ₈	F(1,236)=22.046 ; p<0,0001 ; η ² =0,99	F(1,236)=745 ; p<0,0001 ; η ² =0,76
	♂ ₉	F(1,263)=4.878 ; p<0,0001 ; η ² =0,95	F(1,263)=2 ; p=0,12
	♂ ₁₀	F(1,272)=8.715 ; p<0,0001 ; η ² =0,97	F(1,272)=83 ; p<0,0001 ; η ² =0,23
	♂ ₁₁	F(1,201)=2.461 ; p<0,0001 ; η ² =0,92	F(1,201)=74 ; p<0,0001 ; η ² =0,27
	♂ ₁₂	F(1,235)=609 ; p<0,0001 ; η ² =0,72	F(1,235)=22 ; p<0,0001 ; η ² =0,09

Données acoustiques : fréquence fondamentale (F0) mesurée en demi-tons (dT) évaluant la hauteur ; amplitude relative des deux premiers harmoniques (H1-H2) mesurée en décibels (dB) évaluant la qualité.

Résultats statistiques : valeur de Fisher (F) et (degrés de liberté) ; probabilité de l'hypothèse nulle (p) ; taille de l'effet mesurée par l'éta-carré de Cohen (η²) ; effet non significatif en grisé (gris foncé) ; moyen effet (M) en grisé (gris clair).

Tableau 249 : expérience n°5 de production avec uniquement des mesures acoustiques ; variations des paramètres acoustiques pour les voix produites par rapport à la voix usuelle, chez les hommes

Consonnes		MCP en u		AR en hPa/L/s		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	714	7,1 (4,5)	559	21,7 (12,6)
		Fr (n=5)	354	14,8 (11,6)	217	29,4 (20,2)
		Ch (n=10)	717	12,7 (9,5)	468	21,5 (16,7)
	Femmes	Us (n=6)	316	6,3 (2,7)	277	22,2 (11,3)
		F+ (n=9)	681	9,4 (11,0)	427	26,8 (17,8)
		F- (n=5)	284	10,8 (8,8)	238	18,4 (11,4)
		Tf (n=3)	158	7,6 (4,4)	137	14,2 (8,8)
	Hommes	Us (n=6)	398	7,8 (5,4)	282	21,1 (13,8)
		F+ (n=9)	639	10,5 (7,1)	417	18,2 (9,1)
		F- (n=2)	148	9,3 (5,3)	94	16,0 (7,7)
		Tm (n=4)	232	8,1 (3,6)	190	21,2 (13,3)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm). Indices : pression mécanique de contact (MCP) en unité arbitraire (u) ; résistance articuloire (AR) en hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s).

Tableau 250 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : pression mécanique de contact et résistance articuloire en fonction des types de parole ou de voix

Pression mécanique de contact (MCP) en unité arbitraire (u)		Consonne occlusive voisée /b/		Consonne occlusive non voisée /p/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	208	7,1 (5,0)	227	8,3 (5,3)
		Fr (n=5)	80	12,3 (9,2)	102	13,6 (9,6)
		Ch (n=10)	180	11,6 (8,5)	197	11,5 (7,8)
	Femmes	Us (n=6)	86	5,9 (2,7)	95	6,8 (2,9)
		F+ (n=9)	183	9,3 (7,2)	204	10,3 (8,0)
		F- (n=5)	76	10,7 (7,9)	83	12,1 (9,5)
		Tf (n=3)	38	6,5 (4,6)	47	6,9 (2,7)
	Hommes	Us (n=6)	122	7,9 (6,1)	132	9,4 (6,2)
		F+ (n=9)	168	9,0 (5,2)	191	13,7 (8,9)
		F- (n=2)	39	8,0 (4,5)	42	10,1 (5,6)
		Tm (n=4)	83	8,0 (3,3)	91	10,0 (3,6)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 251 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : pression mécanique de contact en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives

Pression mécanique de contact (MCP) en unité arbitraire (u)		Consonne fricative voisée /v/		Consonne fricative non voisée /f/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	148	6,5 (2,9)	131	5,7 (2,8)
		Fr (n=5)	84	16,5 (13,2)	88	17,0 (13,6)
		Ch (n=10)	163	13,1 (10,9)	177	14,8 (10,5)
	Femmes	Us (n=6)	70	6,7 (2,8)	65	5,4 (2,1)
		F+ (n=9)	141	13,2 (12,4)	153	12,0 (9,7)
		F- (n=5)	60	11,4 (9,9)	65	8,7 (7,6)
		Tf (n=3)	42	9,6 (5,7)	31	7,2 (3,6)
	Hommes	Us (n=6)	78	6,3 (3,0)	66	6,1 (3,4)
		F+ (n=9)	147	10,2 (6,3)	133	8,0 (5,3)
		F- (n=2)	39	9,4 (5,2)	28	9,8 (5,9)
		Tm (n=4)	27	5,9 (2,2)	31	5,0 (1,5)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 252 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : pression mécanique de contact en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives

Résistance articulaire (AR) en hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s)		Consonne fricative voisée /v/		Consonne fricative non voisée /f/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	278	23,3 (13,4)	281	20,1 (11,6)
		Fr (n=5)	112	25,0 (17,4)	105	34,1 (22,0)
		Ch (n=10)	237	18,7 (15,7)	231	24,4 (17,3)
	Femmes	Us (n=6)	137	24,3 (12,3)	140	20,2 (9,8)
		F+ (n=9)	212	25,9 (16,3)	215	27,8 (19,2)
		F- (n=5)	118	17,3 (10,6)	120	19,4 (12,2)
		Tf (n=3)	67	15,5 (11,0)	70	12,9 (5,8)
	Hommes	Us (n=6)	141	22,2 (14,4)	141	20,0 (13,1)
		F+ (n=9)	209	18,4 (8,6)	208	18,0 (9,5)
		F- (n=2)	46	18,6 (9,0)	48	13,5 (5,0)
		Tm (n=4)	95	20,1 (12,4)	95	22,3 (14,0)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 253 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : résistance articulaire en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives

Voyelles /a/		AR (hPa/L/s)		Durées en secondes (s)		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	1110	0,7 (0,8)	1424	0,304 (0,108)
		Fr (n=5)	282	0,4 (0,5)	605	0,404 (0,091)
		Ch (n=10)	934	1,0 (1,4)	1186	0,274 (0,087)
	Femmes	Us (n=6)	547	0,7 (0,4)	706	0,329 (0,103)
		F+ (n=9)	830	0,5 (1,5)	1070	0,332 (0,062)
		F- (n=5)	473	0,4 (0,8)	601	0,457 (0,088)
		Tf (n=3)	271	1,7 (1,7)	355	0,273 (0,058)
	Hommes	Us (n=6)	563	0,7 (1,1)	718	0,281 (0,107)
		F+ (n=9)	840	0,9 (1,8)	1070	0,250 (0,103)
		F- (n=2)	188	0,5 (0,2)	241	0,294 (0,054)
		Tm (n=4)	378	0,8 (0,7)	478	0,232 (0,048)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm). Indices : résistance articulaire (AR) en hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s).

Tableau 254 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : résistance articulaire et durée segmentale des voyelles en fonction des types de parole ou de voix

Ecart entre les consonnes voisées et non voisées		GR (hPa/l/s) pour les fricatives /v, f/		ΔGP (hPa) pour les occlusives /b, p/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	267	12,7 (30,0)	273	2,2 (1,3)
		Fr (n=5)	90	28,8 (46,4)	110	3,1 (1,5)
		Ch (n=10)	222	-4,6 (47,5)	232	0,7 (1,1)
	Femmes	Us (n=6)	135	14,9 (30,5)	135	2,3 (1,3)
		F+ (n=9)	189	15,1 (50,9)	210	3,0 (2,1)
		F- (n=5)	110	9,3 (41,8)	114	1,5 (1,2)
		Tf (n=3)	66	13,5 (20,2)	64	1,5 (1,0)
	Hommes	Us (n=6)	132	10,4 (29,4)	138	2,1 (1,3)
		F+ (n=9)	201	15,6 (27,7)	206	3,4 (2,0)
		F- (n=2)	43	9,3 (27,3)	46	1,5 (1,3)
		Tm (n=4)	89	7,8 (44,5)	92	1,8 (2,0)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm). Indices : écart de résistance glottique (GR) en hectopascals par litre et par seconde (hPa/L/s) ; écart de différence de pression autour de la glotte (ΔGP) en hectopascals (hPa).

Tableau 255 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : écarts estimés de résistance glottique et de différence de pression autour de la glotte en fonction des types de parole ou de voix

Durées mesurées à partir du signal acoustique (segmentation) en secondes (s)		Consonne fricative voisée /v/		Consonne fricative non voisée /f/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	278	0,141 (0,047)	281	0,216 (0,052)
		Fr (n=5)	114	0,125 (0,040)	113	0,168 (0,039)
		Ch (n=10)	238	0,160 (0,043)	233	0,193 (0,049)
	Femmes	Us (n=6)	137	0,123 (0,045)	140	0,194 (0,051)
		F+ (n=9)	212	0,104 (0,024)	216	0,151 (0,023)
		F- (n=5)	119	0,128 (0,027)	119	0,186 (0,024)
		Tf (n=3)	67	0,153 (0,045)	70	0,236 (0,046)
	Hommes	Us (n=6)	141	0,158 (0,043)	141	0,239 (0,043)
		F+ (n=9)	210	0,125 (0,036)	209	0,189 (0,034)
		F- (n=2)	46	0,158 (0,028)	48	0,234 (0,029)
		Tm (n=4)	95	0,147 (0,039)	95	0,223 (0,038)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 256 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées segmentales (acoustiques) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives

Durées mesurées à partir du signal acoustique (segmentation) en secondes (s)		Consonne occlusive voisée /b/		Consonne occlusive non voisée /p/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	280	0,162 (0,055)	278	0,205 (0,057)
		Fr (n=5)	117	0,133 (0,031)	114	0,167 (0,036)
		Ch (n=10)	234	0,155 (0,038)	235	0,183 (0,043)
	Femmes	Us (n=6)	137	0,143 (0,048)	139	0,182 (0,048)
		F+ (n=9)	212	0,119 (0,034)	212	0,145 (0,024)
		F- (n=5)	116	0,139 (0,028)	118	0,187 (0,023)
		Tf (n=3)	69	0,154 (0,03)	65	0,228 (0,042)
	Hommes	Us (n=6)	143	0,180 (0,055)	139	0,227 (0,058)
		F+ (n=9)	207	0,132 (0,037)	214	0,181 (0,041)
		F- (n=2)	48	0,180 (0,050)	46	0,227 (0,046)
		Tm (n=4)	94	0,179 (0,038)	93	0,227 (0,043)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 257 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées segmentales (acoustiques) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives

Durées mesurées à partir du signal aérodynamique (pics de débit du flux d'air oral ou trans-articulaire : TAF) en secondes (s)		Consonne fricative voisée /v/		Consonne fricative non voisée /f/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	178	0,132 (0,058)	214	0,139 (0,068)
		Fr (n=5)	54	0,103 (0,041)	91	0,115 (0,041)
		Ch (n=10)	193	0,158 (0,052)	211	0,175 (0,054)
	Femmes	Us (n=6)	68	0,107 (0,041)	92	0,106 (0,034)
		F+ (n=9)	138	0,100 (0,028)	159	0,107 (0,026)
		F- (n=5)	75	0,101 (0,034)	84	0,113 (0,038)
		Tf (n=3)	39	0,116 (0,040)	37	0,105 (0,048)
	Hommes	Us (n=6)	110	0,148 (0,061)	122	0,165 (0,076)
		F+ (n=9)	157	0,133 (0,041)	175	0,122 (0,046)
		F- (n=2)	36	0,172 (0,031)	48	0,167 (0,039)
		Tm (n=4)	69	0,141 (0,040)	91	0,161 (0,052)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 258 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées aérodynamiques en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives

Durées mesurées à partir du signal aérodynamique (pics de débit du flux d'air oral ou trans-articulaire : TAF) en secondes (s)		Consonne occlusive voisée /b/		Consonne occlusive non voisée /p/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	260	0,176 (0,060)	271	0,212 (0,062)
		Fr (n=5)	93	0,144 (0,040)	100	0,174 (0,048)
		Ch (n=10)	198	0,172 (0,040)	222	0,202 (0,048)
	Femmes	Us (n=6)	120	0,154 (0,058)	132	0,190 (0,055)
		F+ (n=9)	179	0,136 (0,038)	198	0,154 (0,029)
		F- (n=5)	102	0,149 (0,032)	114	0,185 (0,032)
		Tf (n=3)	63	0,151 (0,026)	62	0,198 (0,040)
	Hommes	Us (n=6)	140	0,195 (0,055)	139	0,234 (0,061)
		F+ (n=9)	201	0,146 (0,040)	213	0,190 (0,044)
		F- (n=2)	46	0,197 (0,048)	46	0,240 (0,047)
		Tm (n=4)	92	0,191 (0,040)	93	0,231 (0,046)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 259 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées aérodynamiques en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives

Durées mesurées à partir du signal physiologique (pics de pression mécanique de contact : MCP) en secondes (s)		Consonne fricative voisée /v/		Consonne fricative non voisée /f/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	147	0,144 (0,060)	131	0,175 (0,064)
		Fr (n=5)	77	0,131 (0,055)	88	0,148 (0,062)
		Ch (n=10)	162	0,125 (0,053)	176	0,146 (0,064)
	Femmes	Us (n=6)	69	0,124 (0,060)	65	0,153 (0,060)
		F+ (n=9)	128	0,088 (0,029)	152	0,108 (0,037)
		F- (n=5)	59	0,114 (0,027)	60	0,153 (0,047)
		Tf (n=3)	42	0,138 (0,046)	31	0,155 (0,049)
	Hommes	Us (n=6)	78	0,162 (0,056)	66	0,198 (0,061)
		F+ (n=9)	130	0,104 (0,039)	124	0,123 (0,052)
		F- (n=2)	39	0,148 (0,034)	28	0,200 (0,053)
		Tm (n=4)	27	0,099 (0,026)	31	0,128 (0,054)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 260 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées physiologiques en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives

Durées mesurées à partir du signal physiologique (pics de pression mécanique de contact : MCP) en secondes (s)		Consonne occlusive voisée /b/		Consonne occlusive non voisée /p/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Ensemble	Us (n=12)	207	0,119 (0,055)	223	0,138 (0,056)
		Fr (n=5)	78	0,124 (0,039)	96	0,126 (0,043)
		Ch (n=10)	175	0,113 (0,039)	194	0,133 (0,049)
	Femmes	Us (n=6)	85	0,101 (0,056)	91	0,112 (0,049)
		F+ (n=9)	154	0,084 (0,031)	184	0,094 (0,031)
		F- (n=5)	74	0,102 (0,028)	80	0,124 (0,038)
		Tf (n=3)	38	0,103 (0,030)	47	0,125 (0,038)
	Hommes	Us (n=6)	122	0,131 (0,051)	132	0,156 (0,053)
		F+ (n=9)	143	0,098 (0,034)	184	0,117 (0,042)
		F- (n=2)	39	0,121 (0,032)	42	0,139 (0,051)
		Tm (n=4)	81	0,113 (0,038)	91	0,138 (0,046)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 261 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : durées physiologiques en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives

Taux de voisement (V%)		Consonne fricative voisée /v/		Consonne fricative non voisée /f/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Femmes	Us (n=6)	131	0,92 (0,26)	140	0,17 (0,26)
		F+ (n=9)	197	0,84 (0,37)	216	0,16 (0,28)
		F- (n=5)	117	0,69 (0,45)	120	0,16 (0,25)
		Tf (n=3)	66	0,91 (0,25)	70	0,13 (0,20)
	Hommes	Us (n=6)	140	0,90 (0,26)	141	0,15 (0,23)
		F+ (n=9)	196	0,90 (0,29)	209	0,19 (0,28)
		F- (n=2)	46	0,71 (0,40)	48	0,21 (0,25)
		Tm (n=4)	94	0,68 (0,43)	95	0,13 (0,20)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 262 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : taux de voisement en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives

Taux de voisement (V%)		Consonne occlusive voisée /b/		Consonne occlusive non voisée /p/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Femmes	Us (n=6)	137	0,54 (0,45)	139	0,10 (0,21)
		F+ (n=9)	202	0,47 (0,47)	211	0,13 (0,25)
		F- (n=5)	116	0,27 (0,40)	118	0,11 (0,21)
		Tf (n=3)	69	0,65 (0,43)	65	0,21 (0,28)
	Hommes	Us (n=6)	143	0,29 (0,38)	139	0,09 (0,19)
		F+ (n=9)	198	0,30 (0,41)	214	0,10 (0,20)
		F- (n=2)	48	0,14 (0,27)	46	0,07 (0,16)
		Tm (n=4)	95	0,20 (0,30)	93	0,09 (0,18)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 263 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : taux de voisement en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives

Fréquence fondamentale relative originale (RFF) à la terminaison de la voyelle pré-consonantique en demi-tons (dT)		Consonne fricative voisée /v/		Consonne fricative non voisée /f/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Femmes	Us (n=6)	137	-0,3 (0,5)	140	-0,2 (0,6)
		F+ (n=9)	212	-0,6 (0,6)	216	-0,9 (0,6)
		F- (n=5)	117	-0,1 (0,4)	117	-0,3 (0,7)
		Tf (n=3)	64	-0,3 (0,6)	70	-0,2 (0,7)
	Hommes	Us (n=6)	141	-1,0 (0,9)	138	-0,9 (1,2)
		F+ (n=9)	200	-0,8 (0,7)	185	-1,0 (1,2)
		F- (n=2)	45	-0,4 (0,5)	48	-0,9 (0,8)
		Tm (n=4)	94	-0,9 (0,8)	95	-1,5 (1,0)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 264 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative originale (terminaison vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives

Fréquence fondamentale relative originale (RFF) à la terminaison de la voyelle pré-consonantique en demi-tons (dT)		Consonne occlusive voisée /b/		Consonne occlusive non voisée /p/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Femmes	Us (n=6)	137	-0,4 (0,6)	139	-0,4 (0,6)
		F+ (n=9)	212	-0,6 (0,6)	212	-0,6 (0,6)
		F- (n=5)	113	-0,2 (0,5)	113	-0,3 (0,5)
		Tf (n=3)	67	-0,3 (0,5)	64	-0,2 (0,4)
	Hommes	Us (n=6)	143	-1,1 (1,0)	137	-1,0 (1,2)
		F+ (n=9)	196	-0,8 (0,8)	193	-0,9 (0,9)
		F- (n=2)	48	-0,4 (0,6)	46	-0,5 (0,5)
		Tm (n=4)	95	-0,5 (0,7)	93	-0,9 (0,9)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 265 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative originale (terminaison vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives

Fréquence fondamentale relative originale (RFF) à l'initiation de la voyelle post-consonantique en demi-tons (dT)		Consonne fricative voisée /v/		Consonne fricative non voisée /f/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Femmes	Us (n=6)	133	-0,1 (0,8)	138	2,1 (1,7)
		F+ (n=9)	205	-0,3 (1,0)	204	1,1 (1,5)
		F- (n=5)	114	0,2 (0,6)	110	1,7 (1,3)
		Tf (n=3)	57	0,0 (0,7)	55	1,4 (1,6)
	Hommes	Us (n=6)	140	-0,9 (1,5)	126	1,2 (1,4)
		F+ (n=9)	193	-0,4 (1,0)	170	1,5 (1,6)
		F- (n=2)	46	0,7 (0,9)	48	2,1 (1,0)
		Tm (n=4)	93	-0,2 (1,4)	94	1,0 (1,2)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 266 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative originale (initiation vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives

Fréquence fondamentale relative originale (RFF) à l'initiation de la voyelle post-consonantique en demi-tons (dT)		Consonne occlusive voisée /b/		Consonne occlusive non voisée /p/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Femmes	Us (n=6)	127	0,2 (1,1)	129	2,3 (1,5)
		F+ (n=9)	207	-0,2 (1,2)	199	1,0 (1,6)
		F- (n=5)	105	0,7 (1,0)	108	1,5 (1,4)
		Tf (n=3)	53	0,6 (1,0)	47	1,0 (1,5)
	Hommes	Us (n=6)	141	0,0 (1,5)	128	1,2 (1,3)
		F+ (n=9)	187	-0,3 (1,4)	179	1,2 (1,5)
		F- (n=2)	47	1,8 (1,1)	45	2,1 (1,2)
		Tm (n=4)	91	0,3 (1,3)	91	0,7 (1,7)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 267 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative originale (initiation vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives

Fréquence fondamentale relative adaptée (RFF _a) à la terminaison de la voyelle pré-consonantique en demi-tons (dT)		Consonne fricative voisée /v/		Consonne fricative non voisée /f/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Femmes	Us (n=6)	135	-0,3 (0,5)	133	0,2 (0,6)
		F+ (n=9)	202	-0,8 (1,1)	207	-1,0 (1,3)
		F- (n=5)	112	-0,1 (0,5)	114	-0,2 (0,5)
		Tf (n=3)	58	-0,4 (1,1)	55	-0,4 (0,7)
	Hommes	Us (n=6)	141	-0,9 (1,2)	138	-0,7 (1,3)
		F+ (n=9)	193	-0,6 (0,8)	183	-0,6 (1,0)
		F- (n=2)	45	-0,4 (0,6)	48	-0,7 (0,7)
		Tm (n=4)	93	-0,9 (0,9)	94	-1,2 (1,2)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 268 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative adaptée (terminaison vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives

Fréquence fondamentale relative adaptée (RFF _a) à la terminaison de la voyelle pré-consonantique en demi-tons (dT)		Consonne occlusive voisée /b/		Consonne occlusive non voisée /p/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Femmes	Us (n=6)	128	-0,2 (0,8)	136	-0,1 (0,6)
		F+ (n=9)	200	-0,7 (1,2)	207	-0,7 (1,3)
		F- (n=5)	111	0,0 (0,5)	110	-0,1 (0,7)
		Tf (n=3)	57	-0,3 (0,9)	53	0,0 (0,8)
	Hommes	Us (n=6)	142	-0,8 (1,2)	136	-0,6 (1,3)
		F+ (n=9)	186	-0,5 (0,7)	193	-0,6 (0,7)
		F- (n=2)	48	-0,4 (0,5)	45	-0,4 (0,5)
		Tm (n=4)	93	-0,4 (0,9)	93	-0,6 (0,8)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 269 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative adaptée (terminaison vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives

Fréquence fondamentale relative adaptée (RFF _a) à l'initiation de la voyelle post-consonantique en demi-tons (dT)		Consonne fricative voisée /v/		Consonne fricative non voisée /f/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Femmes	Us (n=6)	132	-0,1 (0,8)	135	1,5 (1,3)
		F+ (n=9)	195	-0,2 (0,9)	195	0,8 (1,2)
		F- (n=5)	109	0,3 (0,6)	106	1,2 (1,2)
		Tf (n=3)	56	0,1 (0,6)	53	0,9 (0,9)
	Hommes	Us (n=6)	140	-0,7 (1,3)	126	0,7 (1,0)
		F+ (n=9)	192	-0,2 (0,9)	168	0,8 (1,1)
		F- (n=2)	45	0,5 (0,5)	48	1,5 (0,7)
		Tm (n=4)	92	-0,2 (1,3)	93	0,6 (1,0)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 270 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative adaptée (initiation vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes fricatives

Fréquence fondamentale relative adaptée (RFF _a) à l'initiation de la voyelle post-consonantique en demi-tons (dT)		Consonne occlusive voisée /b/		Consonne occlusive non voisée /p/		
		Nombre de données	Moyenne (écart-type)	Nombre de données	Moyenne (écart-type)	
Participants	Femmes	Us (n=6)	125	0,1 (0,7)	129	1,5 (1,2)
		F+ (n=9)	195	-0,2 (1,1)	194	0,5 (1,2)
		F- (n=5)	105	0,7 (0,9)	104	1,0 (1,1)
		Tf (n=3)	53	0,5 (1,0)	47	0,6 (1,1)
	Hommes	Us (n=6)	141	-0,2 (1,1)	128	0,6 (1,0)
		F+ (n=9)	181	-0,2 (1,1)	179	0,7 (1,0)
		F- (n=2)	47	1,2 (0,8)	44	1,4 (0,7)
		Tm (n=4)	90	0,3 (1,1)	91	0,5 (1,3)

Productions : parole et voix usuelles (Us) ; parole basale ou fry (Fr) ; parole chuchotée (Ch) ; voix forte-aigüe-pressée (F+) ; voix faible-grave-soufflée (F-) ; voix faible-grave-pressée typiquement chez les femmes (Tf) ; voix faible-aigüe-soufflée typiquement chez les hommes (Tm).

Tableau 271 : expérience n°4 de production avec des mesures physiologiques, aérodynamiques et acoustiques : fréquence fondamentale relative adaptée (initiation vocalique) en fonction des types de parole ou de voix et du voisement des consonnes occlusives

Résumé

Un effort phonatoire intense ou prolongé peut causer des lésions des plis vocaux et une dysphonie. L'effort correspond à la perception, par un individu, de la force qu'il déploie pour réaliser une activité, ici la phonation visant à faire vibrer périodiquement les plis vocaux pour produire la voix dans la parole. L'évaluation de cet effort doit donc reposer, au moins, sur deux mesures, l'une perceptive et l'autre physique. Pour développer de telles mesures, il est nécessaire de dissocier l'effort phonatoire de la dysphonie, d'une part, et de l'effort articulatoire, d'autre part. Nous avons réalisé des expériences chez un grand nombre de sujets sains, en faisant varier l'effort phonatoire. Nous avons comparé les consonnes voisées et non voisées, ainsi que la parole vocale modale usuelle et non usuelle, c'est-à-dire différant par l'intensité, la hauteur et la qualité de la voix. Nous avons testé une mesure d'auto-perception de l'effort dans des comparaisons de syllabes par paires : le taux de difficulté ressenti pendant la production des consonnes voisées, par rapport aux non voisées. Le score moyen s'élevait à 22 sur 36, soit 61 pourcents. Nous avons aussi adapté une mesure acoustique de l'effort phonatoire : la fréquence fondamentale relative (RFF_a). Les valeurs de RFF_a , notamment à l'initiation de la voyelle post-consonantique, étaient plus basses, indiquant un effort plus important, pour les consonnes voisées que pour les non voisées et pour la voix forte-aigüe-pressée que pour la voix usuelle. Ces valeurs étaient cohérentes avec les mesures aérodynamiques réalisées. Nous avons également appliqué les deux mesures développées à des patients, dont nous présentons les cas.

Mots clés : effort, phonation, articulatoire, voisement, consonne

Abstract

An intense or prolonged phonatory effort can induce vocal fold lesions and dysphonia. The effort corresponds to the perception, by and individual, of the exertion to perform an activity, here the phonation aiming to create a periodic vibration of the vocal folds in order to produce the voice during speech. Therefore, the evaluation of phonatory effort must rely, at least, on two measures, one perceptive and another physical. To develop such measures, it is necessary to dissociate phonatory effort from dysphonia, on the one hand, and from articulatory effort, on the other hand. We have conducted experiments in a large number of healthy subjects, by varying the phonatory effort. We compared voiced and voiceless consonants, as well as usual and unusual modal vocal speech, the last one differing in intensity, pitch, and voice quality. We tested a self-perception measurement in pair comparisons of syllables: the rate of difficulty felt during the production of the voiced consonants, compared to voiceless ones. The average score was 22 out of 36, or 61 percent. We also adapted an acoustic measure of phonatory effort: the relative fundamental frequency (RFF_a). The values of RFF_a , especially at the initiation of post-consonantal vowels, were lower, indicating a greater effort, for the voiced consonants than for the voiceless ones, and for the loud-high-pressed voice than for the usual voice. These values were consistent with the aerodynamic measurements we made. We also applied the two developed measures to patients and we present their cases.

Keywords: effort, phonation, articulatory, voicing, consonant