

Du percept auditif au geste articulatoire : les capacités perceptuo-motrices chez les enfants normolecteurs et dyslexiques

Muriel Lalain, Nathalie Vallée, Jean-Luc Schwartz

GIPSA-Lab – ICP, UMR 5216 CNRS – Université de Grenoble
GIPSA-Lab, Université Stendhal, 1180 Avenue Centrale, 38031 Grenoble Cedex 9
muriel.lalain, nathalie.vallee, jean-luc.schwartz@gipsa-lab.inpg.fr

<http://www.gipsa-lab.inpg.fr>

ABSTRACT

It is an old matter of debate to determine to what extent perceptual and motor representations are connected in speech communication. A number of recent neurocognitive data confirmed the existence of strong links between perception and action in the human brain. In the framework of PACT [1] in which speech units are considered as gestures shaped by perceptual processes, we explore the ability of children to recover the basic vowel gestures from speech sound. We found that children were indeed able to perform the task up to a certain extent. There appeared a clear progress from 4 to 6 and from 6 to 10. We proposed an original algorithm enable to infer from these data an internal representational space for oral vowels. The space appeared to increase in size and improve in regularity with age. A comparison with dyslexic children showed a significant decrease in performance, probably associated to a poorer representation of the basic gestures.

Keywords: perceptuo-motor links, vowel representations, reading acquisition, phonological awareness, dyslexia

1. REPRÉSENTATIONS PHONOLOGIQUES ET CAPACITÉS PERCEPTUO-MOTRICE

D'après le cadre de réflexion proposé par la PACT [1], la perception de la parole comprend l'ensemble des processus perceptifs permettant de récupérer les gestes vocaux du locuteur, fournissant ainsi un ensemble de représentations utilisées pour le suivi et la compréhension des actions perçues et, en retour, pour le contrôle et la spécification de nos propres actions. Les représentations ainsi construites seraient donc intrinsèquement sensorimotrices et non plus le seul produit du percept auditif. Selon cette théorie, la parole serait construite sur un jeu de correspondances entre représentations sensorielles et motrices, notamment lors de l'acquisition du langage au cours de la période d'émergence du système phonologique. Chez l'enfant, le système phonologique est acquis vers 5/6 ans; il est alors confronté au langage écrit, dont l'acquisition est largement conditionnée par les compétences orales préexistantes. Les études menées depuis les années 70 dans le domaine de l'apprentissage de la lecture et ses déficits ont montré l'importance du développement des capacités

métaphonologiques, et plus particulièrement des capacités phonémiques (analyse de la parole en phonèmes) pour l'apprentissage du langage écrit [2]; les mauvais lecteurs et les lecteurs déficients montrent des difficultés à isoler et manipuler les phonèmes de leur langue et sont donc gênés lorsqu'il s'agit d'associer, à un phonème donné, le graphème correspondant [3]. Ce déficit des capacités phonémiques, caractéristique des enfants atteints de dyslexie développementale phonologique pourrait trouver lui-même son origine dans une sous spécification du système phonologique. Le déficit de structuration du système phonologique de l'enfant proviendrait d'un déficit perceptif [5] ou neuro fonctionnel [6] ou encore articulatoire [7]. Cette dernière hypothèse proposée par Heilman suggère l'existence d'un véritable déficit du feed back sensori moteur qui entraînerait chez les enfants dyslexiques des difficultés à se représenter la position de leurs articulateurs lors de la production des sons de parole.

Au regard de tels arguments, il est possible de penser que les représentations sonores pourraient être stockées, au niveau cognitif, sous la forme de représentations perceptuo-motrices et que c'est sous cette forme, que l'enfant constituerait son système phonologique au cours de l'acquisition du langage oral. Afin de tester cette hypothèse, nous nous sommes interrogés sur la capacité d'enfants normo-lecteurs et dyslexiques à estimer les différences de position des articulateurs vocaux lors d'une tâche de perception de la parole.

2. MÉTHODE

Nous avons adapté le protocole expérimental auparavant élaboré par N. Vallée et ses collaborateurs [8] et dont l'objectif était de tester la capacité de sujets adultes à récupérer à partir d'un stimulus auditif, les traits vocaliques caractéristiques des différentes voyelles répertoriées dans les langues du monde [9].

Ce protocole a été adapté à une population d'enfants dont la tâche était d'estimer les différences de position articulatoire de la mâchoire, de la langue et des lèvres à partir d'un stimulus auditif constitué de paires de voyelles.

2.1. Matériel

Les prototypes vocaliques [8] correspondants aux 10 voyelles orales du français ont été utilisés. A partir de cette sélection, des paires de voyelles ont été constituées puis

réparties en trois blocs expérimentaux afin de tester la capacité des enfants à estimer, entre 2 stimuli vocaliques la différence de position des articulateurs sur les axes 1) d'aperture, 2) antéro-postérieur, 3) de protrusion. Le bloc *mâchoire* comportait 15 paires de voyelles, le bloc *Langue* 11 paires et le bloc *Lèvres* 10. Chaque paire de voyelles était présentée dans 2 ordres ([i] vs [e], puis [e] vs [i]) . De même, le type de question posée au sein de chaque bloc (« pour quelle voyelle la bouche est-elle la plus ouverte ? » vs « pour quelle voyelle la bouche est-elle la plus fermée ? ») a été contrebalancé ceci afin d'écarter tout effet expérimental. Chaque paire était présentée à 3 reprises dans un ordre aléatoire.

Le logiciel Revolution® a été utilisé pour la création du test sous une forme ludique, adaptée aux enfants. L'interface graphique représentait un décor marin comportant 2 phares, chacun s'allumant lors de la présentation des stimuli auditifs. Les sujets devaient cliquer sur le phare correspondant à la voyelle de leur choix. La réponse était enregistrée de manière automatique par le programme.

2.2. Sujets

Les données ont été recueillies en milieu scolaire, auprès de 30 enfants pré-lecteurs (PL, Moyenne Section de Maternelle, 4 ans), 29 apprentis lecteurs (AL, Cours Préparatoire, 6 ans) et 28 lecteurs confirmés (LC, Cours Moyen 2^{ème} année). Les 16 enfants dyslexiques (DY) âgés de 10 ans étaient appariés en âge de lecture avec les sujets AL et en âge chronologique avec les sujets LC. Ils ont été testés en maison médicalisée.

2.3. Protocole expérimental

Tous les sujets ont effectué l'ensemble de l'expérience de perception / identification des positions articulaires au cours de passations individuelles. Chacun des trois blocs expérimentaux a été présenté dans un ordre unique, à une semaine d'intervalle chacun : *mâchoire*, *langue*, puis *lèvres*.

Chaque sujet était équipé d'un casque audio et installé face à un ordinateur portable de type PC. Chacune des sessions durait environ 30 mn, instructions et passations comprises. Après quelques explications et exemples, chaque sujet suivait un entraînement lui permettant de se familiariser avec l'ordinateur et l'interface graphique du test. Il devait ensuite commencer le test et désigner, après avoir entendu 2 voyelles, celle qui, selon lui était prononcée avec 1) la mâchoire la plus ouverte, 2) la langue la plus en avant, 3) les lèvres les plus étirées. Les sujets devaient répondre le plus rapidement possible et avaient la possibilité de reproduire les sons perçus.

3. RÉSULTATS

L'effet des facteurs expérimentaux (ordre et question) a été testé à l'aide d'une ANOVA ; les résultats n'ont pas montré de différence significative.

Un test de Chi2 a été utilisé afin de déterminer dans quelle mesure les performances observées chez chaque groupe de sujets différaient du hasard. Les résultats ont montré que pour le bloc *mâchoire*, les réponses diffèrent du hasard de manière significative pour chaque groupe (PL : Chi2 = 88,2 ; df = 1 ; $p < .0001$ – AL : Chi2 = 776,5 ; df = 1 ; $p < .0001$ – LC : Chi2 = 757,9 ; df = 1 ; $p < .0001$ – DY : Chi2 = 102,4 ; df = 1 ; $p < .0001$). De même pour les blocs *langue* (PL : Chi2 = 35,2 ; df = 1 ; $p < .0001$ – AL : Chi2 = 485,5 ; df = 1 ; $p < .0001$ – LC : Chi2 = 1024,5 ; df = 1 ; $p < .0001$ – DY : Chi2 = 85,2 ; df = 1 ; $p < .0001$) et *lèvres* (PL : Chi2 = 261,4 ; df = 1 ; $p < .0001$ – AL : Chi2 = 645,7 ; df = 1 ; $p < .0001$ – LC : Chi2 = 915,2 ; df = 1 ; $p < .0001$ – DY : Chi2 = 397,3 ; df = 1 ; $p < .0001$).

Une série d'ANOVA a été effectuée à partir des données obtenues par les sujets pour chacun des trois blocs expérimentaux, ceci afin de tester un effet de groupe.

Pour le bloc *mâchoire* les résultats ont montré un effet groupe significatif [F (3, 99) = 13.98, $p < .0001$]. Les performances des sujets PL sont inférieures à celles des sujets AL, LC et DY. Les sujets DY montrent également des performances légèrement inférieures aux groupes contrôles AL et LC.

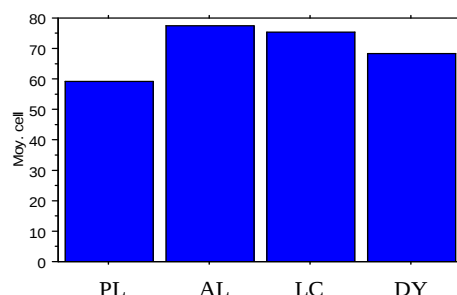


Figure 3 : Bloc *mâchoire* : % moyen de réponses correctes par groupe

Des séries de t-test ont été conduites afin de préciser cet effet. Les résultats ont montré une différence significative entre les groupes PL et AL ($p < .0001$), PL et LC ($p < .0001$), PL et DY ($p = .001$) ainsi qu'entre les groupes AL et DY ($p = .002$) et LC et DY ($p = .02$).

Les sujets pré lecteurs sont significativement différents des sujets lecteurs. Les meilleures performances sont celles des groupes de sujets lecteurs, qu'ils soient en apprentissage ou qu'ils possèdent déjà un certain niveau d'expertise. Seules leurs performances sont comparables. Les sujets DY sont significativement différents des autres groupes, ce qui pourrait suggérer un retard, voire une déviance développementale chez ces sujets.

Pour le bloc *langue*, l'effet de groupe est également significatif [F(3, 100) = 12.04, $p < .0001$]. Les sujets PL présentent des scores inférieurs au groupe AL qui lui-même obtient des valeurs inférieures à LC. Les sujets DY présentent des performances inférieures aux groupes contrôles AL et LC.

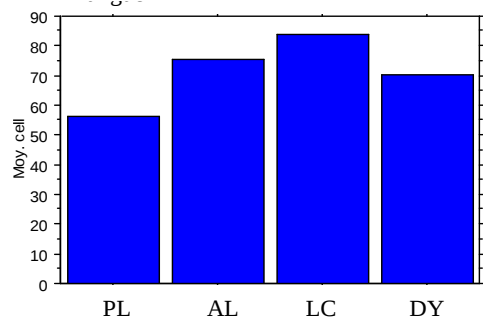


Figure 4 : Bloc langue : % moyen de réponses correctes par groupe

Les t-test montrent une différence significative entre les groupes PL et AL ($p < .0001$), PL et LC ($p < .0001$), PL et DY ($p = .0003$) ainsi qu'entre les groupes LC et DY ($p = .004$). Les PL diffèrent des sujets lecteurs. Les performances des groupes de sujets lecteurs, AL et LC sont comparables. Les sujets DY sont cette fois différents des LC dont ils ont le même âge chronologique, mais sont comparables aux sujets AL appariés en âge de lecture. Ce résultat suggère un retard chez les DY plutôt qu'une déviance.

Pour le bloc *lèvres*, l'effet de groupe est significatif [$F(3, 98) = 8.13, p < .0001$].

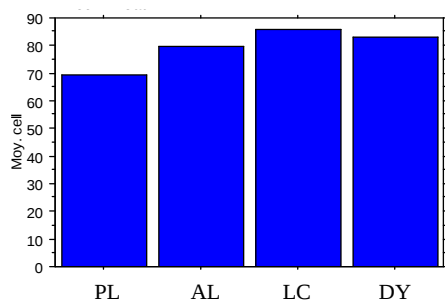


Figure 5 : Bloc lèvres : % moyen de réponses correctes par groupe

Les résultats des t-test montrent une différence significative entre les groupes PL et AL ($p = .0003$), PL et LC ($p < .0001$) et PL et DY ($p = .0005$). Les sujets PL sont donc différents des sujets lecteurs. En revanche, pour cette tâche, les trois groupes de sujets lecteurs présentent des performances comparables : les sujets DY ne diffèrent pas des sujets contrôles. Ces résultats suggèrent l'existence de capacités perceptuo-motrices chez les enfants âgés de 4 à 10 ans.

Afin de représenter ces capacités perceptuo-motrices, l'algorithme suivant a été appliqué aux données observées pour chacun des groupes :

$$\text{Discrimination}(V1, V2) = \text{Percept_Pos}(V2) - \text{Percept_Pos}(V1)$$

Cet algorithme permet d'obtenir les représentations perceptives 3D présentées ci-après : L'espace perceptif se déplie et se régularise au cours du développement (Figure 6 à 8). La structure, étroite et très irrégulière chez les sujets PL se stabilise chez AL et LC, ce qui confirme chez ces sujets une bonne capacité à réaliser la tâche et nous

permet de confirmer l'existence de représentations perceptuo-motrice chez les enfants.

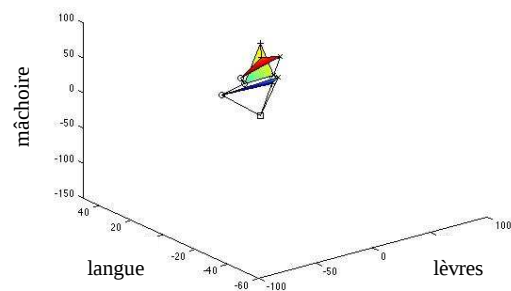


Figure 6 : Représentation de la structure perceptive des sujets PL

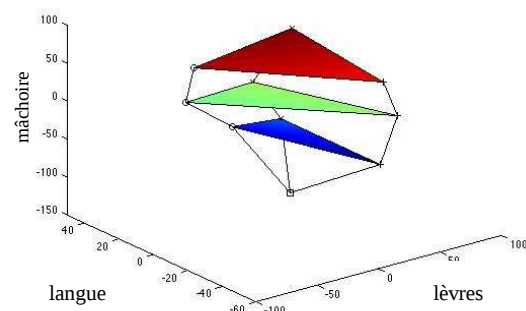


Figure 7 : Représentation de la structure perceptive des sujets AL

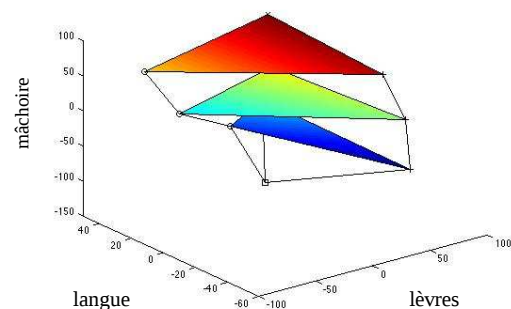


Figure 8 : Représentation de la structure perceptive des sujets LC

Chez les sujets DY, on observe une irrégularité de la structure perceptive qui reflète les résultats des ANOVAS sur les scores.

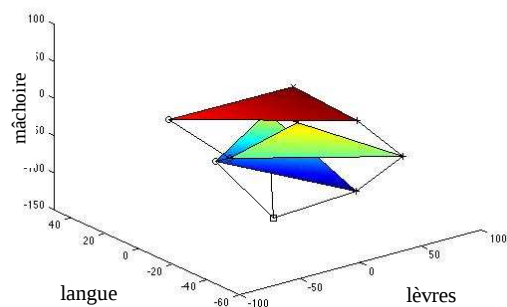


Figure 9 : Représentation de la structure perceptive des sujets DY

Cette structure perceptive sous spécifiée pourrait être représentative du système phonologique déficitaire avéré chez ces sujets.

4. DISCUSSION

Nos résultats ont montré que l'ensemble des sujets sont capables d'effectuer une tâche d'identification des différences de positions articulatoires à partir de stimuli auditifs présentés par paires, ce qui nous permet de conclure en l'existence de capacités perceptuo-motrices chez les enfants âgés de 4 à 10 ans. Vraisemblablement, les enfants se sont montrés capables de récupérer les représentations motrices associées à un percept auditif. Nous parlerons cependant ici de capacité et non de représentation au regard des stratégies observées chez l'enfant lors de la tâche et chez tous les groupes de sujets : répétition à voix basse des stimuli auditifs, hyper articulation et parfois même un recours à l'information tactile (les mains sont posées au niveau du maxillaire inférieur). Ces différentes stratégies peuvent évoquer un moyen d'accéder à l'information sensori-motrice. Observées chez la plupart des sujets, elles n'ont pas fait l'objet d'un traitement statistique, mais ces stratégies pourront faire l'objet d'une attention particulière dans les travaux à venir d'autant qu'elles constituent un argument indirect en faveur d'un lien entre perception-action.

D'après les résultats obtenus, les capacités perceptuo-motrices évoluent au cours du développement puisque les performances augmentent avec l'âge (4 ans < 6 ans < 10 ans). D'autre part, même si elle n'a pas été testée ici de manière empirique, il existe des arguments en faveur d'une relation entre les capacités perceptuo-motrices et l'apprentissage de la lecture, et peut être également aux différentes compétences qui lui sont liées puisque les

performances du groupe PL sont significativement inférieures à celles des deux groupes de sujets lecteurs AL et LC. Ceci est également suggéré par les résultats des sujets dyslexiques : leurs performances sont inférieures à celles des groupes contrôles ce qui reflète sans doute un retard développemental de cette capacité chez ces enfants, ou en tous cas une difficulté d'accès à l'information articulatoire. Ce retard pourrait être lié à leurs faibles capacités d'analyse phonémique dont on sait qu'elles sont responsables de leur déficit en lecture. Nos données pourraient venir appuyer l'hypothèse d'une cause « articulatoire » impliquée dans la structuration déficitaire du système phonologique chez les enfants dyslexique [7].

Ces premiers résultats, tout à fait encourageants, confirment nos hypothèses et vont dans le sens du cadre de réflexion proposé par la PACT [1] qui propose un lien direct entre perception et action dans la co-construction des représentations phonologiques, notamment au cours du développement. Cette étude constitue la première mise en évidence de capacités perceptuo-motrices chez l'enfant dyslexique et normo-lecteur.

Enfin, dans le contexte de l'apprentissage de la lecture et du déficit des représentations phonologiques, ces premiers résultats nous conduisent à une évaluation des capacités perceptuo-motrices dans le cas de stimuli consonantiques. Les résultats préliminaires de ces expérimentations en cours pourront être évoqués au cours de la conférence, de même que les possibles implications en termes d'enseignement, de diagnostic et de rééducation.

Remerciements : Nos remerciements vont à Alain Arnal, pour son aide précieuse dans l'élaboration et la conception du test de perception. Nous adressons toute notre gratitude aux Personnels et enfants des écoles maternelles et primaire, ainsi qu'aux personnels et enfants des Lavandes pour leur accueil chaleureux et leur participation complice à cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.-L. Schwartz, C. Abry, L.-J. Boë and M.-A. Cathiard, "Phonology in a theory of perception-for-action-control," in *Phonetics, Phonology and Cognition*, J. Durand and B. Laks, Eds, pp. 255-281. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- [2] Bradley, L., & Bryant, P.E., Categorizing sounds and learning to read: a causal connection, *Nature*, 301: 419-421, 1983.
- [3] Liberman, I.Y., 1973, Segmentation of spoken words, *Bulletin of the Orton Society*, 23: 65-77.
- [4] Stein, J. & Walsh, V., To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia, *Trends in neuroscience*, 20: 147-152, 1997.
- [5] Tallal, P., Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children, *Brain Language*, 9: 182-198, 1980.
- [6] Nicolson, R.I., Fawcett, A.J., Dean, P., Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis, *Trends in neuroscience*, 24 (9): 508-516, 2001.
- [7] Heilman, K.M., Voeller, K., & Alexander, A.W. Developmental dyslexia: a motor-articulatory feedback hypothesis. *Annals of Neurology*, 39, 407-412, 1996.
- [8] N. Vallée, L.J. Boë and Y. Payan, "Vowel prototypes for UPSID's phonemes," *XIIIth International Congress of Phonetic Sciences*, Stockholm, vol. 1, pp. 424-427, 1995.
- [9] N. Vallée, S. Kandel, Can we recover vowel gestures from speech sounds? An experimental study based on original psychophysical paradigm, *International Congress of Phonetic Sciences*, Barcelone, 2003.