

Une étude IRMf de la production de la deixis agentive *via* la focalisation prosodique ou l'extraction syntaxique

Hélène Lævenbruck*, Monica Baciu,‡ Christoph Segebarth§ & Christian Abry*

*Institut de la Communication Parlée, UMR CNRS 5009 / INPG / Université Stendhal
46 avenue Félix Viallet – 38031 Grenoble Cedex 1, France

‡ Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, UMR CNRS 5105, Univ. P. Mendès-France, Grenoble, France
§ Unité Mixte INSERM / UJF 594, LRC CEA 30V, Grenoble, France

Mél : {loeven ; abry}@icp.inpg.fr, monica.baciu@upmf-grenoble.fr, Christoph.Segebarth@ujf-grenoble.fr

ABSTRACT

Deixis, or pointing, plays a crucial role in language acquisition and speech communication. The aim of this fMRI study is to determine the neural correlates of the production of utterances involving agent deixis through either prosody or syntax, or both. Sixteen subjects were examined. A common pattern of activation was found for the three deixis conditions including the left inferior frontal gyrus (LIFG), the left insula and the bilateral premotor (BA 6) cortex. Prosodic deixis additionally activated the left anterior cingulate gyrus (BA 24, 32), the left supramarginal gyrus (LSMG, BA 40) and Wernicke's area (BA 22). Our results suggest that the LIFG is involved during agent deixis, and that the LSMG and Wernicke's area are required in prosody-driven deixis only. These findings are consistent with observations on temporo-parieto-frontal coupling in auditory/visual-motor integration. Once grammaticalized, deixis would be handled solely by the LIFG, without the LSMG and Wernicke's area.

1. INTRODUCTION

La deixis – au sens littéral de désignation, monstration, pointage – tient un rôle crucial dans l'acquisition du langage [1] et la communication parlée adulte. Cette capacité de faire porter l'attention de l'allocutaire sur un élément précis est petit à petit raffinée (depuis le pointage par le regard et la main jusqu'aux pointages intonatif et syntaxique) et accompagne la construction du lexique et de la morphosyntaxe. En français, la deixis agentive – le pointage linguistique vers l'agent d'une action – peut être véhiculée par la syntaxe, avec un processus d'extraction (« c'est x qui ») ou par la prosodie, avec un contour intonatif portant une focalisation sur l'élément à désigner. Cette étude examine les corrélats neuraux de la production d'énoncés impliquant la deixis agentive *via* la prosodie et/ou la syntaxe.

La région de Broca (le gyrus frontal inférieur gauche, LIFG ; aires de Brodmann BA 44, 45, 47) est souvent associée au traitement linguistique, depuis l'analyse des phrases entières jusqu'à celle de la syllabe [2-4]. Elle a également été associée au traitement (non verbal) de l'action [5]. Il a été montré qu'elle n'est, par contre, pas activée dans des simples tâches de production langagière automatique [6]. Partant de ces résultats, nous émettons l'hypothèse que premièrement, le rôle de la région de

Broca pourrait être celui d'un analyseur de la structure de l'action, et deuxièmement que ce rôle serait tout à fait adapté au traitement linguistique des rôles thématiques. Cet analyseur de l'action pourrait en effet permettre, dans l'analyse morpho-syntaxique, le suivi attentionnel des rôles thématiques, i.e. le pointage de « qui-fait-quoi-à-qui ». Si le LIFG est impliqué dans l'analyse de l'action et ses agents, alors la deixis agentive, qui requiert le suivi des rôles thématiques, devrait l'activer. Notre étude teste l'hypothèse que le LIFG est activé lors de la production d'énoncés avec deixis agentive.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE EXPERIMENTALE

2.1. Sujets et corpus

Seize sujets volontaires sains masculins ont été examinés. Tous étaient droitiers (*Edinburgh Handedness Inventory*), francophones et entraînés. Quatre conditions ont été étudiées. Elles consistaient en la production silencieuse des 4 phrases isosyllabiques ci-dessous :

- Condition de contrôle : "Madeleine m'amena".
- Deixis prosodique : "MADELEINE m'amena", focalisation prosodique sur l'agent "Madeleine".
- Deixis syntaxique : "C'est Mad'leine qui m'am'na".
- Deixis prosodique et syntaxique : "C'est MAD'LEINE qui m'am'na", focalisation prosodique sur "Madeleine".

Les locuteurs avaient pour consigne d'élider les schwas dans les conditions syntaxiques pour maintenir un nombre de 6 syllabes. Chaque phrase était présentée une fois au début de chaque condition. Ensuite, la phrase disparaissait de l'écran et un repère de fixation, alternant toutes les 3s entre un signe '+' et un 'x', apparaissait. Cette alternance de signes était destinée à déclencher la répétition silencieuse (14 fois par condition) de la phrase.

2.2. Paradigme et tâches

Avant d'entrer dans le scanner, les sujets étaient entraînés à exécuter la tâche devant un écran d'ordinateur, d'abord à voix haute, puis silencieusement. Des enregistrements audio pré- et post-scan ont été effectués pour évaluer les performances des sujets pendant les scans IRMf. On présentait aux sujets les mêmes stimuli visuels que pour les scans. Pour les enregistrements post-scan, la consigne était de reproduire à voix haute les patrons mélodiques et rythmiques produits mentalement pendant les scans.

Trois scans fonctionnels ont été effectués par session IRMf, avec un paradigme de type bloc. Chaque scan comprenait 8 périodes (chaque condition étant produite 2 fois) de 42 s. L'ordre de présentation des 4 conditions était variable entre les scans et entre les sujets. La consigne était de lire la phrase présentée au début de chaque condition, puis de la répéter, silencieusement, à chaque alternance du repère de fixation.

2.3.Acquisition IRM fonctionnelle

Les examens IRMf ont été effectués sur l'imageur 1,5 Tesla (*Philips NT*) du CHU de Grenoble. Durant chaque condition, nous avons mesuré un volume cérébral composé de 25 coupes axiales adjacentes (de 5mm d'épaisseur chacune). Le volume acquis a été orienté parallèlement au plan bi-commissural CA-CP. Il a été mesuré 10 fois pendant chaque condition. Une séquence en écho de gradient EPI a été appliquée. Les principaux paramètres d'acquisition étaient : TR = 3700 ms, TE = 45 ms, angle de basculement = 90°, matrice d'acquisition = 64x64, matrice de reconstruction = 128x128, champ de vision = 256x256 mm². En fin d'examen, après les 3 scans fonctionnels, nous avons effectué un scan anatomique générant des images à haute résolution spatiale du volume cérébral mesuré.

2.4.Pré-traitement des données

Les analyses des données ont été effectuées à l'aide du logiciel *SPM 99* (*Wellcome Department of Imaging Neuroscience*). La correction des mouvements, le ré-alignement, la normalisation spatiale (patron MNI) et le lissage spatial ont été effectués.

2.5.Analyses statistiques

Les contrastes ont été déterminés avec le Modèle Linéaire Général. Le seuil statistique pour les pixels individuels a été fixé à $p = 0,001$. Les groupes (*clusters*) de pixels activés ont été identifiés, à partir de l'intensité des réponses individuelles et de l'étendue spatiale des groupes. Le seuil statistique a été fixé à $p = 0,05$ (corrigé) pour l'identification des groupes activés. Nous rapportons les résultats de l'analyse multi-sujets à effets fixes.

3. RÉSULTATS

3.1.Résultats acoustiques

La durée moyenne des énoncés (pour les 16 sujets, les 4 répétitions des 4 conditions) est de 1139 ms (± 159 ms) avant et 1108 ms (± 129 ms) après les scans. La figure 1 présente les durées moyennes des phrases par condition. Aucune variation significative n'a été observée entre les deux enregistrements audio. De plus, les sujets étaient constants dans leurs réalisations des constituants focalisés, avant et après les scans. Dans la deixis prosodique, 3 syllabes (/ma.də.lɛn/) peuvent porter l'accent de focalisation (LHf, voir [7]). Dans la condition de deixis combinée, 2 syllabes sont accentuables

(/ma.dlɛn/). Nous n'avons pas observé de variation intra-sujet entre les enregistrements audio. Par exemple, dans la condition de deixis prosodique, 5 sujets ont mis l'accent de focalisation sur la première syllabe (/ma/), 5 sujets ont accentué la deuxième syllabe (/də/), 4 sujets ont accentué la dernière syllabe (/ɛn/) et 2 sujets ont varié entre la seconde et la troisième syllabes. Mais, pour chaque sujet, l'association entre un accent de focalisation et une (ou plusieurs) syllabes était la même d'un enregistrement à l'autre. La figure 2 reproduit l'analyse acoustique d'une répétition typique de la phrase avec deixis prosodique par le locuteur DB. Comme on peut le voir sur le tracé de F0 superposé sur le spectrogramme, la première syllabe du constituant focalisé porte un pic élevé de F0. Un contour semblable a été observé pour les 8 productions de cette phrase par ce locuteur (avant et après les scans). En conclusion, les performances des sujets, que mesurent ces enregistrements audio, indiquent que leur production n'a varié ni en rythme ni en intonation d'une session à l'autre.

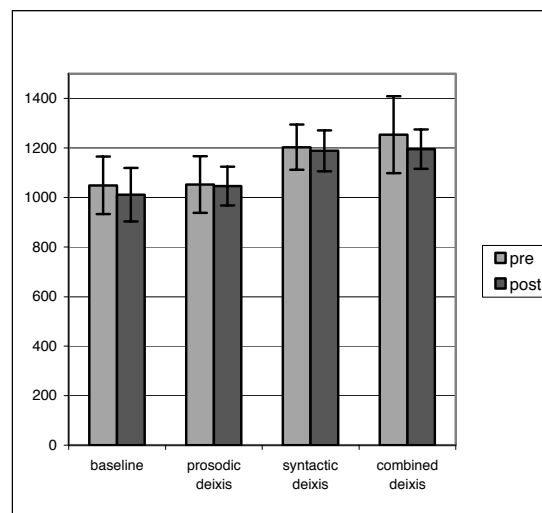


Figure 1 : durée moyenne des énoncés (en ms) pré- et post- scans pour les 4 conditions et les 16 sujets.

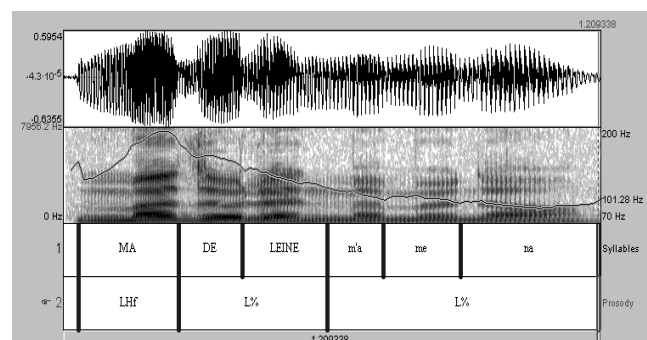


Figure 2 : Analyse acoustique d'une répétition typique de la phrase avec deixis prosodique par le locuteur DB.

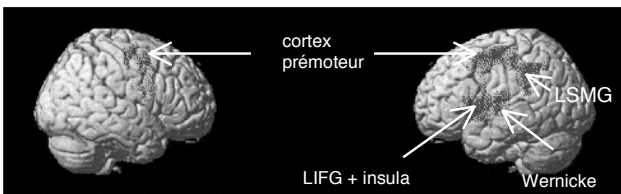
3.2.Résultats IRMf

La table 1 répertorie les pics d'activation significatifs et leurs coordonnées de Talairach (en mm). La figure 3 représente les activations significatives obtenues.

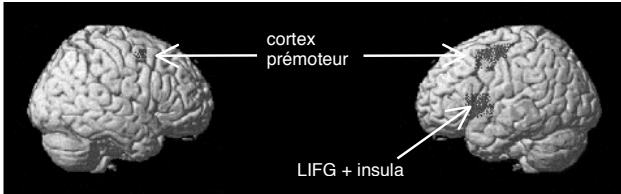
Table 1: Coordonnées stéréotaxiques des pics d'activation dans les tâches déictiques. SMA, Aire Motrice Supplémentaire; SMG, Gyrus Supramarginal.

Région	Coord. Talairach			Z score
	x	y	z	
Deixis Prosodique - Contrôle				
Insula Gauche	-32	4	9	> 8
Insula Gauche	-36	-11	10	6.5
Cingulaire ant. Gauche (BA 24)	-12	5	18	5.1
LIFG (BA 47)	-32	20	-5	> 8
Aire de Wernicke (BA 22)	-48	-16	10	6.5
Gyrus Frontal Moyen G. (BA 6)	-28	2	46	7.3
Cingulaire ant. Gauche (BA 32)	-20	10	41	7.2
LSMG (BA 40)	-44	-37	34	6.6
Aire Motrice Suppl. Droite (BA 6)	4	-9	56	6.4
Aire Motrice Suppl. Droite (BA 6)	16	-9	56	6.1
Deixis Syntaxique - Contrôle				
Insula Gauche	-32	8	9	7.0
LIFG (BA 45)	-28	20	8	5.2
LIFG (BA 47)	-40	16	-1	4.9
Gyrus Frontal Sup. Gauche (BA 8)	-20	14	50	6.4
L. medial frontal gyrus (BA 6)	-24	3	51	6.0
L. medial frontal gyrus (BA 6)	-24	-9	56	5.2
Deixis Combinée - Contrôle				
L. insula	-36	4	9	6.1
LIFG (BA 45)	-28	16	8	6.0
L. SMA (BA 6)	-20	10	50	6.1
Gyrus Frontal Moyen G. (BA 6)	-20	-16	61	5.6
Gyrus Frontal Moyen G. (BA 8)	-20	14	41	5.5
Deixis Prosodique – Deixis Syntaxique				
Gyrus Temp. post. sup. G. (BA 22)	-40	-35	6	7.0
LSMG (BA 40)	-40	-33	29	6.4
LSMG (BA 40)	-40	-33	48	6.2

Deixis prosodique



Deixis syntaxique



Deixis combinée

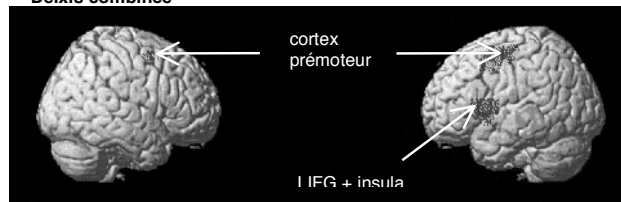


Figure 3 : Activations obtenues dans les contrastes avec la condition de contrôle pour les deixis prosodique (haut), syntaxique (milieu) et combinée (bas), voir texte.

Les activations communes aux 3 conditions déictiques (chacune comparée à la condition de contrôle) incluent : le gyrus frontal inférieur gauche (BA 45 et 47), l'insula gauche, le cortex prémoteur bilatéralement (BA 6). La deixis prosodique active en plus le gyrus cingulaire antérieur gauche (BA 24, 32), le gyrus supramarginal gauche (LSMG, BA 40) et le gyrus temporal postéro-

supérieur (aire de Wernicke, BA 22). Le contraste (deixis prosodique – deixis syntaxique) fournit des activations dans le gyrus temporal postéro-supérieur et le LSMG.

4. DISCUSSION

Cette étude IRMf a mis en évidence l'activation de la **région de Broca** dans toutes les conditions déictiques comparées à la condition de contrôle. Le LIFG est donc activé lors du pointage linguistique de l'agent de l'action, que ce soit par la prosodie, la syntaxe ou les deux. Cette observation rejoint les résultats d'études récentes en neuroimagerie fonctionnelle sur le traitement syntaxique complexe [3]. Ces études ont montré l'implication du LIFG dans des tâches de jugement de plausibilité sur des constructions syntaxiquement complexes, requérant un suivi des rôles thématiques. Nos résultats sont aussi à rapprocher d'études sur l'observation et l'imagerie mentale de l'action, qui impliquent l'activation du LIFG [5, 8,9]. L'ensemble de ces études semble corroborer notre hypothèse que le rôle de la région de Broca serait celui d'un analyseur de la structure de l'action, qui, dans le décodage et l'encodage morpho-syntaxique, permettrait l'analyse du prédicat et de ses arguments, en d'autres termes le suivi de « qui-fait-quoi-à-qui ».

Nous avons également observé une activation de l'**insula gauche** dans toutes les conditions déictiques (comparées à la condition contrôle). Le gyrus précentral gauche de l'insula a été impliqué dans la planification articuloire en parole [10]. Or la prosodie a des corrélats acoustiques et articuloires [11,12]. Par rapport à la simple énonciation, la focalisation prosodique nécessite une planification plus précise des mouvements de la langue et de la mandibule, ce qui pourrait expliquer pourquoi la condition de deixis prosodique fournit une activation significative de l'insula gauche, comparée à la condition contrôle (mêmes mots à articuler mais une prosodie plus exigeante). De même, la condition de deixis syntaxique (comparée à la condition contrôle) requiert une planification articuloire plus précise, étant donné la présence de groupes consonantiques (élision des schwas).

L'activation du **LSMG et de l'aire de Wernicke** dans la condition de deixis prosodique seule suggère que lorsque la deixis est encodée par la syntaxe (le cas des autres conditions déictiques), le lobule pariétal inférieur et le gyrus temporal supérieur gauches ne sont pas nécessaires. Certaines études [13-16] suggèrent que les régions pariétales gauches sont des intégrateurs sensoriels qui forment les représentations nécessaires à l'organisation d'actions motrices, telles que le pointage vers des cibles. Il a ainsi été suggéré qu'un **réseau temporo-pariétal (TPF) gauche** est recruté dans l'organisation d'action motrices verbales à partir de représentations auditives. Nos résultats, qui montrent les activations de l'aire de Wernicke, du LSMG et du LIFG lors de la deixis prosodique sont en accord avec cette hypothèse. Tout comme le pointage manuel visuo-guidé, le pointage prosodique requiert probablement l'activation du réseau TPF. Des représentations sensorielles intégrées (articulo-auditives) seraient formées dans le LSMG, à partir de

représentations auditives fournies par l'aire de Wernicke. Elles seraient envoyées au LIFG pour organiser l'articulation et la phonation de la prosodie.

Par conséquent, nous suggérons que la deixis non-grammaticalisée recrute le réseau TPF gauche et que la deixis grammaticalisée (deixis syntaxique avec ou sans prosodie supplémentaire) est traitée par le LIFG seul.

5. CONCLUSION

Conformément à la conception traditionnelle selon laquelle la prosodie est subordonnée à la syntaxe et à la sémantique, la prosodie est souvent considérée comme recrutant l'hémisphère droit tandis que l'information linguistique « majeure » impliquerait l'hémisphère gauche [17]. Lorsque les aspects de la prosodie associés au traitement de la mélodie sont étudiés, les activations observées concernent en effet l'hémisphère droit [18,19]. Cependant, structure elle-même complexe [20], la prosodie devrait, tout comme la syntaxe et la sémantique, recruter l'hémisphère gauche. Une revue récente de la littérature [21] montre justement que le traitement prosodique (affectif et linguistique) n'est pas strictement affecté à l'hémisphère droit. Plus précisément, [21] citent des études sur la production et la perception de l'emphase (liée à la focalisation prosodique) dans lesquelles des cérébro-lésés à gauche sont plus déficients que les cérébro-lésés à droite. En outre, des études récentes en neuroimagerie ont observé des activations latéralisées à gauche dans des tâches prosodiques [22,23]. Nous suggérons que ces résultats vont dans le même sens que nos conjectures, considérant (1) la région de Broca comme un analyseur de la structure de l'action, bien adapté à la deixis agentive en parole et (2) le réseau temporo-pariéto-frontal gauche comme une interface entre les processus auditifs, articulatoires et phonatoires requis dans l'analyse prosodique.

6. REMERCIEMENTS

Nous remercions Véronique Aubergé, Pascal Perrier, Cécile Brichet, Christophe Savariaux, Chafika Rabehi et Albert Rilliard. Cette étude a été financée par l'ATIP-APN n°29031 du CNRS- SHS.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. Bates & F. Dick (2002). Language, gesture, and the developing brain. *Develop. Psychobiol.*, 40: 293-310.
- [2] Y. Grodzinsky (2000). The neurology of syntax: Language use without Broca's area. *B. B. S.*: 23 (1), 1-21.
- [3] D. Caplan, N. Alpert, G. Waters & A. Olivieri (2000). Activation of Broca's area by syntactic processing under conditions of concurrent articulation. *H.B.M.*, 9: 65-71.
- [4] R. A. Poldrack, A. D. Wagner, M. W. Prull, J. E. Desmond, G. H. Glover & J. D. E. Gabrieli (1999). Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *NeuroImage*, 10: 15-35.
- [5] G. Rizzolatti, L. Fogassi, V. Gallese (1997). Parietal cortex: from sight to action. *Curr. Opin. Neurobiol.*, 7: 562-567.
- [6] R. J. S. Wise, J. Greene, C. Büchel & S. K. Scott (1999). Brain regions involved in articulation. *The Lancet*: 353, 1057-1061.
- [7] S.-A. Jun & C. Fougeron (2000). A phonological model of French intonation. In A. Botinis (ed.) *Intonation: Analysis, modeling and technology*. Dordrecht : KAP, 209-242.
- [8] S. T. Grafton, M. A. Arbib, L. Fadiga & G. Rizzolatti (1996). Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. *Exp. Brain Res.*, 112, 103-111.
- [9] F. Binkofski, K. Amunts, K. M. Stephan, S. Posse, T. Schormann, H.-J. Freund, K. Zilles & R. Seitz (2000). Broca's region subserves imagery of motion: a combined cytoarchitectonic and fMRI study. *Hum. Brain Mapp.*, 11: 273-285.
- [10] N. F. Dronkers (1996). A new brain region for coordinating speech articulation. *Nature*, 384, 159-161.
- [11] M. E. Beckman, J. Edwards & J. Fletcher (1992). Prosodic structure and tempo in a sonority model of articulatory dynamics. *Papers in Laboratory Phonology II; Gesture, segment, prosody*. G. J. Docherty & D. R. Ladd (eds.), CUP, 68-86.
- [12] H. Løvenbrück (1999). An investigation of articulatory correlates of the accentual phrase in French. *Proceedings of the XIVth Int. Congress of Phonetics Sciences*, San Francisco, CA, 1: 667-670.
- [13] G. Vallar, C. Guariglia, D. Nico & L. Pizzamiglio (1997). Motor deficits and optokinetic stimulation in patients with left hemineglect. *Neurology*, 49: 1364-1370.
- [14] F. Lacquaniti, D. Perani, E. Guigon, V. Bettinardi, M. Carrozzo, F. Grassi, Y. Rossetti & F. Fazio (1997). Visuomotor transformations for reaching to memorized targets: a PET study. *Neuroimage*, 5: 129-146.
- [15] Hickok G. & Poeppel D. (2001). Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *T. I. C. S.*, 4: 131-8.
- [16] M. Iacoboni, L. M. Koski, M. Brass, H. Bekkering, R. P. Woods, M.-C. Dubeau, J. C. Mazziotta & G. Rizzolatti (2001). Reafferent copies of imitated actions in the right superior temporal cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98: 13995-13999.
- [17] N. F. Dronkers, S. Pinker & A. Damasio (2000). Language and the Aphasias. *Principles of neural science*, E. R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessell (eds.), McGraw-Hill, 1169-1187.
- [18] R. J. Zatorre, A. C. Evans, E. Meyer & A. Gjedde (1992). Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing. *Science*, 256: 846-849.
- [19] M. Meyer, K. Alter, A. D. Friederici, G. Lohmann & D. Y. von Cramon (2002). fMRI reveals brain regions mediating slow prosodic modulations in spoken sentences. *Hum. Brain Mapp.*, 17: 73-88.
- [20] Beckman M. E. (1996). The parsing of prosody. *Language and Cognitive Processes*, 11: 17-67.
- [21] S. R. Baum & M. D. Pell (1999). The neural bases of prosody: insights from lesion studies and neuroimaging. *Aphasiology*, 13 (8): 581-608.
- [22] C. Astésano, M. Besson & K. Alter (2004). Brain potentials during semantic and prosodic processing in French. *Cognitive Brain Research*, 18: 172-184.
- [23] J. Mayer, D. Wildgruber, A. Riecker, G. Dogil, H. Ackermann & W. Grodd (2002). Prosody production and comprehension: converging evidence from fMRI studies. *Proceedings of Speech Prosody 2002*, Aix-en-Provence, France, 487-490.