

UNIVERSITE LUMIERE LYON 2

L'EFFET D'AIMANT PERCEPTIF : ÉTUDE
COMPORTEMENTALE ET
ÉLECTROENCÉPHALOGRAPHIQUE

MÉMOIRE DE DEUXIÈME ANNÉE DE MASTER
SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

SPÉCIALITÉ : PSYCHOLOGIE COGNITIVE ET
NEUROPSYCHOLOGIE

PARCOURS : PSYCHOLOGIE COGNITIVE RECHERCHE

responsable de la formation:

Professeur A. MAGNAN

présenté par:

Jennifer KRZONOWSKI

réalisé sous la direction de:

Emmanuel FERRAGNE
Véronique BOULENGER

au :

Laboratoire Dynamique du Langage
UMR 5596 CNRS, Université Lyon II

Juin 2012

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier Emmanuel FERRAGNE et Véronique BOULENGER de m'avoir encadrée dans la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour leur aide et leur soutien. Je souhaiterais remercier, de façon particulière, Emmanuel FERRAGNE pour m'avoir fait découvrir ce thème de recherche passionnant et avoir développé mon intérêt pour les aspects plus techniques et matériels de la recherche. Je remercie également Nathalie BEDOIN pour son soutien et sa disponibilité, Mélanie CANAULT qui m'a beaucoup aidée dans ma recherche de participants et tous les membres du Laboratoire Dynamique du Langage pour leur bienveillance. Je remercie tous ceux qui sont intervenus de près ou de loin dans cette étude, notamment les personnes qui ont accepté de participer à nos expériences. Enfin, je remercie Marie GARNIER, ma camarade de bureau et amie.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	1
1 Cadre théorique	2
1.1 La perception catégorielle	2
1.2 La structure interne des catégories phonémiques.....	4
1.2.1 L'effet d'aimant perceptif	5
1.3 Problématique et hypothèses théoriques.....	10
1.3.1 L'effet d'aimant perceptif : étude comportementale	10
1.3.2 L'effet d'aimant perceptif : étude en potentiels évoqués	12
2 Cadre expérimental	13
2.1 Données comportementales : Tâches d'identification et de discrimination.....	13
2.1.1 Méthodologie du travail	13
2.1.1.1 Participants	13
2.1.1.2 Matériel	14
2.1.1.3 Équipement	15
2.1.1.4 Protocole expérimental.....	15
2.1.1.5 Analyse et traitement des données	16
2.1.2 Hypothèses opérationnelles.....	18
2.1.3 Résultats	19
2.1.4 Discussion	21
2.2 Données électroencéphalographiques	24
2.2.1 Méthodologie du travail	24
2.2.1.1 Participants	24
2.2.1.2 Matériel	24
2.2.1.3 Équipement	25
2.2.1.4 Protocole expérimental.....	26
2.2.1.5 Analyse et traitement des données	27
2.2.2 Hypothèses opérationnelles.....	27
2.2.3 Résultats	28
2.2.4 Discussion	29
3 Discussion générale	32
Conclusion et perspectives de recherche.....	36
Références.....	37

Introduction

Les théories phonologiques ont longtemps considéré que les phonèmes étaient perçus de façon essentiellement catégorielle. On considère actuellement qu'ils présentent une structure interne riche et que certains exemplaires de catégories sont plus représentatifs que d'autres (Kuhl, 1991; Miller, 2001). L'effet d'aimant perceptif (*The Perceptual Magnet Effect*) témoigne de cette structure interne complexe, car il révèle que, à distance objective équivalente, deux stimuli proches du prototype sont plus difficiles à distinguer que deux stimuli qui en sont éloignés (Iverson & Kuhl, 1995; Kuhl, 1991). Pour Kuhl et ses collègues (Kuhl et al., 2008), l'effet d'aimant perceptif est une conséquence de l'acquisition du langage. Si c'est le cas, la taille de cet effet pourrait être utilisée pour évaluer la maturation phonologique. L'effet d'aimant perceptif serait alors un outil pertinent dans l'établissement de diagnostics, voire dans la conception de programmes de remédiation de troubles du langage (dyslexie développementale, dysphasie, etc.), comme le sont la pente d'une courbe d'identification ou la localisation d'un pic de discrimination dans les études de perception catégorielle (Bogliotti, Serniclaes, Messaoud-Galusi, & Sprenger-Charolles, 2008).

Une revue de la littérature sur le sujet montre qu'il n'existe cependant pas de consensus quant aux processus sous-tendant cet effet et que des critiques ont été émises concernant les procédures utilisées. De plus, seulement deux études ont été menées pour mettre en évidence l'effet d'aimant perceptif en électrophysiologie, et les résultats sont mitigés. L'objectif de notre étude est de répliquer l'effet d'aimant perceptif sur des voyelles du français pour tester son caractère systématique et observer les propriétés de cet effet aux niveaux comportemental et électrophysiologique.

1 Cadre théorique

Depuis un demi-siècle, les recherches portant sur la perception de la parole, et notamment sur les mécanismes mis en œuvre dans l'identification de phonèmes, ont considéré que les catégories phonémiques étaient perçues de manière essentiellement catégorielle, c'est-à-dire que des stimuli successifs sur un continuum physique ne sont pas perçus comme formant un continuum mais comme appartenant à des catégories discrètes (Studdert-Kennedy, Liberman, Harris, & Cooper, 1970). Plus récemment des études ont mis l'accent sur la structure interne des catégories phonémiques, et on a pu démontrer que des différences intra-catégorielles pouvaient être perçues.

1.1 La perception catégorielle

Dès les années 1950, au laboratoire Haskins, Liberman et collaborateurs ont mis en place des études fondamentales pour déterminer les indices acoustiques servant de support aux oppositions entre phonèmes. Ces études ont révélé une perception catégorielle des phonèmes qui se traduit par le fait qu'il est plus facile à un auditeur de percevoir des différences équivalentes entre deux sons lorsque ceux-ci appartiennent à deux catégories phonémiques différentes que lorsque ces sons appartiennent à une même catégorie phonémique (Liberman, Harris, Hoffman, & Griffith, 1957). La perception catégorielle est typiquement évaluée par deux tâches à partir d'un continuum entre deux unités phonémiques ou syllabiques : l'identification et la discrimination.

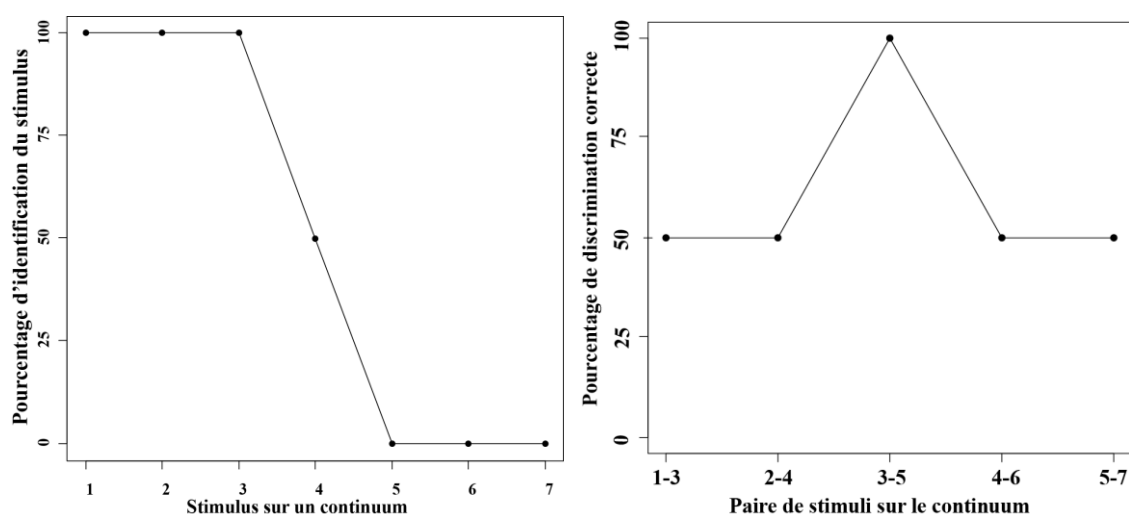


Figure 1 : Réponses-types dans un test d'identification (à gauche) et dans un test de discrimination (à droite).

La tâche d'identification permet de définir la frontière phonémique, qui correspond au point du continuum pour lequel les réponses sont équiprobables. La pente de la fonction indique la précision de la frontière : plus la pente est raide meilleure est la précision (Liberman, et al., 1957; Repp, 1984). Dans la tâche de discrimination, les stimuli du continuum sont présentés par paires. La courbe des réponses présente un « pic de discrimination » lorsqu'il y a franchissement de frontière sur le continuum. La perception est parfaitement catégorielle lorsque les données de discrimination sont prédites par celles de l'identification (cf. Figure 1).

Liberman, et al. (1957) ont mis en évidence une perception catégorielle pour les trois catégories /b/, /d/ et /g/ suivies de la voyelles /e/. Par la suite, ils ont montré une perception catégorielle pour le contraste /d/ vs /t/ (Liberman, Harris, Kinney, & Lane, 1961), puis pour le contraste /b/ vs /p/ (Liberman, Harris, Eimas, Lisker, & Bastian, 1961). Des études similaires ont ensuite été menées sur la perception des voyelles à partir du continuum /ɪ/-/ɛ/-/æ/. Les résultats de ces études, n'ont pas pu mettre en évidence une perception catégorielle des voyelles mais plutôt une perception continue (Eimas, 1963; Fry, Abramson, Eimas, & Liberman, 1962).

L'ensemble de ces résultats tend à prouver que les consonnes et les voyelles sont traitées différemment, ce qui constitue le postulat de base de la théorie motrice de la perception de la parole développée à Haskins (*Motor Theory of Speech Perception*) (Liberman & Mattingly, 1985). Le principe de cette théorie repose sur l'idée que la perception de la parole et le contrôle articulatoire impliquent des processus neurologiques similaires. Selon cette théorie, il n'y aurait pas de frontière bien établie entre les voyelles dans l'espace articulatoire : il est possible de passer d'une voyelle à une autre de manière graduelle en modifiant progressivement la configuration géométrique du conduit vocal. Les consonnes occlusives quant à elles seraient séparées par un ensemble de frontières articulatoires naturelles. Le passage d'un /p/ à un /t/, par exemple, présenterait nécessairement un caractère discontinu puisque ces deux consonnes requièrent des articulateurs actifs différents, bilabial versus apico-dental. La théorie motrice prétend que l'auditeur utilise les mouvements articulatoires nécessaires à la production du signal de parole pour interpréter celui-ci. C'est la présence des frontières articulatoires dans l'espace des consonnes qui expliquerait le fait qu'elles soient

perçues de manière catégorielle, tandis que les voyelles ne présentant pas de frontières articulatoires seraient perçues sur un mode continu.

A la même époque, Fujisaki et Kawashima (1971)* ont présenté de nouvelles études sur la perception des consonnes fricatives, glides et liquides. Ils ont montré que ces consonnes ne sont pas aussi catégorielles que les consonnes occlusives et que certaines voyelles peuvent être perçues sur un mode catégoriel selon le contexte. Imbert et Dupont (1981/82) confirment également le fait que la perception des voyelles, en particulier /i/ et /e/, est essentiellement catégorielle même si elle présente une tendance à la continuité. Ces études, en opposition avec la théorie motrice proposée par le groupe de Haskins, ont permis de mettre en évidence que la perception catégorielle ne dépend pas du type de son de parole mais qu'un même son pouvait être perçu de manière catégorielle ou de manière continue en fonction de la situation expérimentale (Gerrits & Schouten, 2004; Repp & Crowder, 1990; Repp, Healy, & Crowder, 1979; Sachs, 1969; Van Hessen & Schouten, 1999).

1.2 La structure interne des catégories phonémiques

Les études du groupe Haskins considèrent essentiellement que les auditeurs sont insensibles aux différences intra-catégorielles des sons de la langue. Pourtant, d'autres études se sont penchées sur la manière dont l'auditeur perçoit les sons à l'intérieur d'une même catégorie phonémique. Miller (1994) soutient que les catégories phonémiques présentent une structure interne riche. Pour mettre en évidence cette structure interne, elle a réalisé une tâche de jugement de qualité (*judgement of category goodness*). Les stimuli étaient constitués d'un continuum de /bi/ à /pi/ dont la distinction /b-/p/ reposait sur des variations dans le temps d'attaque vocale (*Voice Onset Time, VOT*). La série de stimuli a été étendue jusqu'à une version exagérée de /pi/, nommée */pi/, dont le VOT était particulièrement élevé. Les auditeurs devaient juger à quel point les stimuli représentaient la catégorie /p/ sur une échelle de 1 à 10 (1 pour les excellents exemplaires, 10 pour les mauvais).

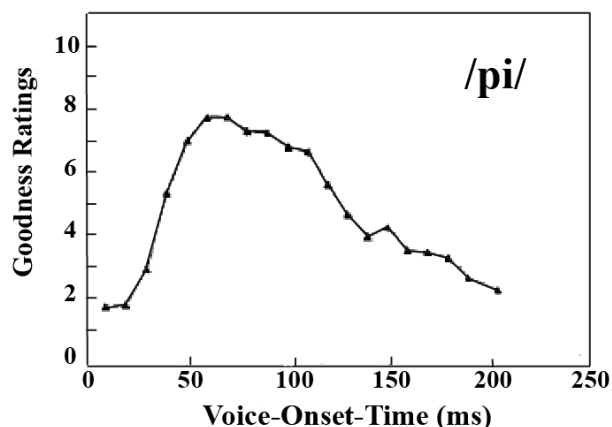


Figure 2 : Fonction des jugements de qualité pour la catégorie phonémique /pi/ le long du continuum /bi-/ /pi/-*/pi/ (Miller, 1994).

Les résultats de cette étude (cf. Figure 2) montrent que des stimuli d'une même catégorie phonémique ne sont pas perçus de manière égale et qu'il existe au sein d'une même catégorie de meilleurs représentants. Les meilleurs exemplaires, ceux recevant les meilleures notes, sont appelés « prototypes », terme emprunté à Rosch (1975) qui définit un prototype comme la meilleure instance d'une catégorie, l'exemplaire le plus saillant qui servirait de référence et à partir duquel les autres exemplaires de la catégorie seraient jugés et évalués. Certains auteurs considèrent le prototype comme « *une représentation abstraite en mémoire d'une forme ou d'un objet résultant d'une synthèse statistique de tous les patrons individuels des formes d'une catégorie donnée* » (Bonnet, Ghiglione, & Richard, 1989) mais nous retiendrons ici la définition de Rosch (1975). Les résultats de Miller montrent qu'en s'éloignant du prototype de la catégorie, les notes se dégradent, c'est-à-dire que les exemplaires sont perçus comme étant de moins bons représentants de la catégorie en question.

Patricia Kuhl et ses collègues ont développé un modèle de perception de la parole autour de la notion de prototype, *The Perceptual Magnet Theory*, que nous développons dans le paragraphe suivant.

1.2.1 L'effet d'aimant perceptif

Patricia Kuhl défend également l'idée selon laquelle tous les exemplaires d'une même catégorie ne sont pas perçus de manière équivalente. La théorie des aimants perceptifs (*perceptual magnet*) accorde un rôle particulier aux prototypes. Selon Kuhl, les prototypes exercent un effet d'attraction perceptive sur les sons qui les entourent dans l'espace

acoustique. Ainsi, des différences entre des exemplaires proches des prototypes seraient plus difficiles à percevoir que des différences acoustiquement équivalentes entre des exemplaires éloignés des prototypes.

Kuhl (1991) a mené une première série d'expériences avec des participants adultes, des enfants et des macaques Rhesus. Dans cette première étude, l'effet d'aimant perceptif n'a pas pu être établi chez le macaque Rhesus, ce qui suggère que des processus phonétiques, par opposition à des processus acoustiques, seraient au cœur de cet effet. Cependant, la portée de cet argument peut être relativisée étant donnée la taille de l'échantillon (6 singes).

Une démonstration typique de l'effet d'aimant perceptif est présentée par Iverson et Kuhl (1995). Dans une première expérience, une série de voyelles variant sur les fréquences des deux premiers formants (F1 et F2) était présentée à des auditeurs adultes devant réaliser des tâches d'identification phonémique et de jugement de qualité. La série de voyelles était constituée d'intervalles entre les stimuli égaux sur l'échelle psychoacoustique des Mel (cf. Figure 3).

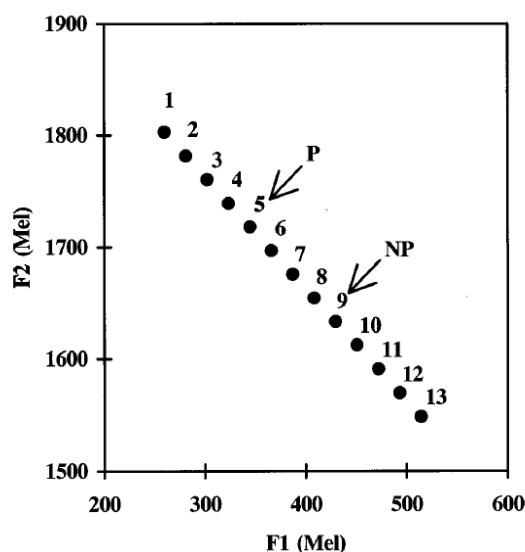


Figure 3 : Fréquences des formants 1 et 2 en Mel pour les stimuli utilisés par Iverson et Kuhl (1995). P est le prototype, NP le non-prototype.

Les auditeurs ont identifié chaque voyelle, présentée isolément, comme étant soit un /i/, soit un /e/. Les voyelles 1 à 9 étaient identifiées comme /i/ pour plus de 50% des items et ont été considérées comme des membres appropriés de la catégorie /i/ par Iverson et Kuhl. Les sujets ont également jugé la qualité de chaque voyelle comme représentative de la catégorie /i/. Les items présentant les fréquences de F2 les plus élevées et les fréquences de F1 les plus basses ont reçu les meilleurs scores. Iverson et Kuhl ont désigné le stimulus 5 comme étant le

prototype (P) et le stimulus 9 comme étant le non-prototype (NP). Dans l'expérience suivante, les sujets ont participé à une tâche de discrimination AX (*AX discrimination task*, Macmillan, Goldberg, et Braida (1988)). Dans un bloc d'items, les sujets devaient discriminer le stimulus P de six de ses voisins sur le continuum P-NP (i.e., les voyelles 2, 3, 4, 6, 7 et 8), dans un autre bloc, ils devaient discriminer le stimulus NP de ses voisins sur le continuum P-NP (i.e., les voyelles 6, 7, 8, 10, 11 et 12). Les voyelles étant à une distance psychophysique égale (30 Mel), les voyelles P et NP aurait dû être discriminables de leurs voisins de la même manière. Pourtant, les résultats d'une analyse de détection du signal montrent que les distances perceptives entre NP et ses voisins sont plus grandes que celles entre P et ses voisins, c'est-à-dire que les sujets discriminent plus facilement NP de ses voisins que P de ses voisins (cf. Figure 4).

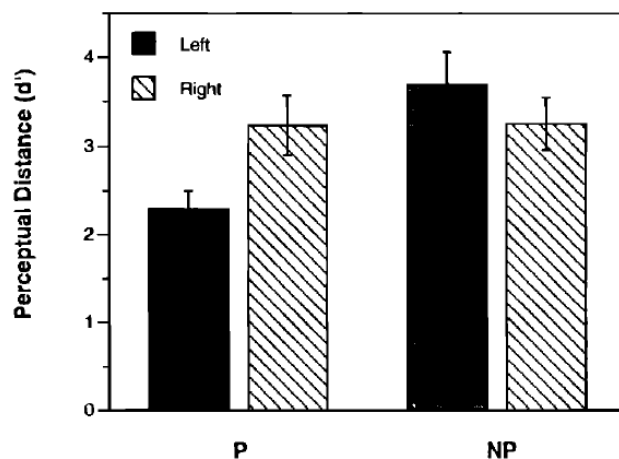


Figure 4 : Moyenne des scores pour l'expérience de discrimination AX. Les barres d'erreur indiquent 1 écart-type. Les sujets discriminent mieux les stimuli autour de NP qu'autour de P. De plus, la discrimination est meilleure pour les exemplaires situés à droite de P qu'à gauche de P, ce qui coïncide avec les scores en identification. Aucune différence n'apparaît entre les stimuli situés à gauche et à droite de NP (Iverson & Kuhl, 1995).

Kuhl et collaborateurs attribuent ce phénomène au statut particulier du prototype. Celui-ci exercerait un effet d'attraction perceptive sur les sons qui l'entourent, contractant ainsi l'espace perceptif autour de lui. L'auditeur aurait tendance à assimiler perceptivement au prototype les sons qui lui sont proches, et il discriminerait donc plus difficilement des sons proches du prototype que des sons qui en sont éloignés (cf. Figure 5).

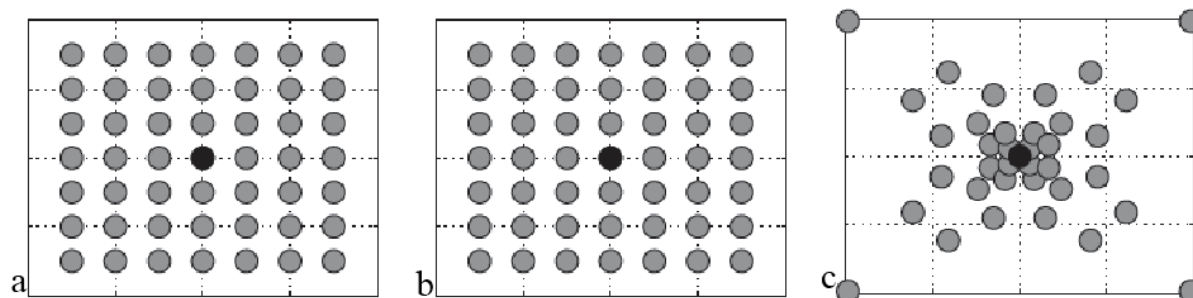


Figure 5 : Représentation schématique des distances acoustiques (a), des distances perçues autour d'un non-prototype (b) et d'un prototype (c). Le non-prototype et le prototype sont représentés en noir.

Kuhl et collaborateurs (Kuhl, 1994; Kuhl, et al., 2008) ont intégré cette notion d'aimant perceptif dans une théorie du développement de la perception du langage, *The Native Language Magnet Theory*. Dans les premiers temps de la vie, les enfants sont capables de discriminer toutes les unités phonémiques des langues du monde. Dès 6 mois, cette capacité phonémique universelle diminue puis disparaît et, à l'âge adulte, les sujets ne sont plus capables de discriminer des sons d'une langue étrangère. Néanmoins, les capacités à percevoir les sons de sa langue maternelle augmentent considérablement entre 6 et 12 mois. Sous l'effet de l'expérience linguistique, l'effet d'aimant perceptif viendrait façonner la perception du langage.

Des études menées par d'autres chercheurs ont fourni moins de preuves de l'existence de l'effet d'aimant perceptif en perception de la parole. Sussman et Lauckner-Morano (1995), Lively (Lively, 1993, 1997) et Lotto, Kluender, et Holt (1998) n'ont en effet pas réussi à répliquer les résultats de Kuhl (1991). Ces études ont montré que le stimulus prototype utilisé par Kuhl n'était en réalité pas le meilleur exemplaire de la catégorie /i/ et qu'il n'était pas identifié comme un /i/ dans la plupart des cas. En outre, aucun effet d'aimant perceptif n'a été mis en évidence en utilisant des prototypes et non prototypes plus appropriés, ou en manipulant des variables telles que le type de tâche de discrimination (i.e., AX vs 4IAX), la procédure d'analyse (i.e., pourcentage de généralisation vs d-prime) ou encore les caractéristiques des sujets (i.e., sujets experts ou non en phonétique). Ces études ont alors conclu que la discrimination intra-catégorielle de voyelles serait davantage influencée par la structure acoustique des stimuli que par l'effet d'aimant des prototypes.

L'étude menée par Iverson et Kuhl (1995) décrite dans le paragraphe précédent venait en réponse à ces critiques au sujet des résultats de Kuhl (1991). Pour répliquer les résultats de leur étude de 1991, Iverson et Kuhl ont créé un continuum de stimuli variant de /i/ à /e/ à égale distance en Mels qui englobait les prototype et non-prototype de l'expérience originale de Kuhl. Ils ont trouvé que le stimulus original utilisé comme prototype n'était pas l'exemplaire le mieux noté de la catégorie et que le stimulus original utilisé comme non-prototype se situait sur la frontière catégorielle puisqu'il était identifié en tant que /i/ dans seulement 55% des cas. Les résultats montrent néanmoins que les participants avaient plus de difficultés à discriminer les exemplaires les plus prototypiques que ceux qui l'étaient le moins. Ces conclusions encouragent l'idée que les prototypes ont un effet d'aimant et qu'ils réduisent l'espace perceptif autour d'eux.

Les résultats d'une étude menée par Aaltonen, Eerola, Hellström, Uuispaikka, et Lang (1997) sur l'effet d'aimant perceptif avec des voyelles du finnois en utilisant des mesures comportementales et électroencéphalographiques soutiennent en partie la théorie de Kuhl. Ces auteurs ont montré que leurs sujets se divisaient en deux groupes en fonction de leur capacité à catégoriser des voyelles : des bons catégoriseurs et des mauvais catégoriseurs. Les bons catégoriseurs seulement présentaient un effet d'aimant perceptif dans des tâches comportementales et dans une tâche en potentiels évoqués. Sharma et Dorman (1998) ont également mené une étude visant à répliquer l'effet d'aimant perceptif au niveau comportemental et en électrophysiologie. Leurs résultats ne montrent pas d'effet d'aimant perceptif ni au niveau comportemental, ni en électroencéphalographie et penchent en faveur de l'idée selon laquelle la discrimination de paires de stimuli proches d'un prototype serait basée sur les propriétés acoustiques des stimuli.

L'effet d'aimant perceptif a été mis en évidence pour d'autres catégories phonémiques, comme les consonnes (Davis & Kuhl, 1994; Iverson & Kuhl, 1996). Iverson et Kuhl (1996) ont trouvé notamment que, pour les catégories de l'anglais américain /r/ et /l/, l'espace perceptif était contracté sur les deux dimensions de F2 et F3 autour des meilleurs exemplaires de catégories. Très récemment, Tomaschek, Truckenbrodt, et Hertrich (2011) ont montré un effet d'aimant perceptif (et un effet de frontière) pour les catégories /a/ et /a:/ de l'allemand, qui diffèrent sur le paramètre de la durée.

Bosch, Costa, et Sebastian (1997) ont enfin montré que des personnes bilingues présentaient un effet d'aimant perceptif uniquement pour les bons exemplaires de leur langue maternelle et pas pour ceux de leur seconde langue. Ces résultats montrent qu'en plus d'être

acquises très tôt, les catégories phonémiques restent pratiquement inchangées au cours de la vie malgré les expériences linguistiques.

1.3 Problématique et hypothèses théoriques

Les données que nous venons de présenter révèlent qu'aucun consensus n'a encore émergé pour déterminer si la discrimination intra-catégorielle des voyelles dépend de propriétés du système auditif ou de processus de plus haut niveau liés à l'acquisition du langage et à la formation de prototypes vocaliques comme le suggérerait l'effet d'aimant perceptif. Le but de notre étude est de répliquer l'effet d'aimant perceptif avec des mesures comportementales pour des voyelles du français et d'étudier les corrélats cognitifs qui soutiennent la perception intra-catégorielle de ces voyelles par des mesures en électroencéphalographie (EEG).

1.3.1 L'effet d'aimant perceptif : étude comportementale

La plupart des études qui ont répliqué l'effet d'aimant perceptif ont essentiellement utilisé la voyelle /i/ (Diesch, Iverson, Kettermann, & Siebert, 1999; Iverson & Kuhl, 1995, 2000; Sussman & Lauckner-Morano, 1995). Or cette voyelle présente des propriétés quantiques (Stevens, 1972, 1989), c'est-à-dire qu'une grande variation objective dans la zone du /i/ est perçue comme une variation plus faible que si une même variation était attestée dans une autre région de l'espace acoustique. Tomaschek, et al. (2011) ont toutefois répliqué l'effet d'aimant perceptif avec le /a/ de l'Allemand, mais cette voyelle est ici encore quantique. De ce fait, il est possible que l'effet d'aimant perceptif résulte davantage des propriétés acoustiques des stimuli utilisés que de processus de haut niveau impliqués dans l'apprentissage de la langue. De plus, ces études ont testé l'effet d'aimant perceptif en comparant l'effet d'un prototype et d'un non prototype et il a été reproché, notamment à l'étude de Kuhl (1991), que l'exemplaire considéré comme le prototype ne constituait pas réellement le meilleur exemplaire de la catégorie et que l'exemplaire considéré comme non prototype n'appartenait pas à la catégorie étudiée. Ainsi, l'effet d'aimant perceptif montré par Kuhl (1991) pourrait alors résulter d'un simple effet catégoriel (Lotto, et al., 1998). Selon la théorie du développement du langage élaborée par Kuhl (1994), l'effet d'aimant perceptif viendrait moduler dès la naissance toutes les catégories phonémiques du sujet. Notre étude propose donc, en plus de répliquer l'effet d'aimant perceptif sur une voyelle quantique du français, le /i/, de tester cet effet sur une voyelle non quantique du français, le /e/, pour

s'assurer que l'effet ne tient pas aux propriétés acoustiques des voyelles et qu'il n'est pas limité à certaines catégories. Pour cela, nous avons constitué un continuum entre les voyelles /i/ et /e/ dont les voyelles ne diffèrent que sur les deux premiers formants et pour lequel chaque voyelle était séparée de ses voisines par une distance constante sur l'échelle des Bark. Ce continuum était constitué de huit voyelles allant du prototype de la voyelle /i/ au prototype de la voyelle /e/. Tester l'effet d'aimant perceptif aux extrémités d'un continuum est une alternative simple qui permet d'éviter de confondre l'effet d'aimant perceptif avec l'effet de frontière en contrôlant la position de la frontière.

Selon Iverson et Kuhl (1995), deux critères permettent d'indiquer la présence de l'effet d'aimant perceptif :

1. La sensibilité dans une tâche de discrimination est minimale dans le voisinage du meilleur exemplaire (prototype) d'une catégorie.

2. Il y a une corrélation négative entre la sensibilité et le taux d'identification puisque les stimuli qui présentent le taux d'identification le plus fort sont considérés comme étant les prototypes de la catégorie en question.

La première partie de ce travail consistera donc en deux expériences comportementales : une tâche d'identification et une tâche de discrimination impliquant les voyelles synthétisées. En accord avec les deux critères permettant de mettre en évidence l'effet d'aimant perceptif, la discrimination devrait être moins bonne dans les conditions qui présentent des stimuli proches des prototypes des catégories que dans les conditions qui présentent des stimuli éloignés des prototypes. D'autre part, les scores en discrimination devraient être négativement corrélés avec les scores en identification, c'est-à-dire que la discrimination devrait être moins bonne pour les stimuli ayant obtenu les meilleurs scores en identification et inversement. Pour éviter l'amalgame effet d'aimant perceptif/effet catégoriel, ces deux critères seront observés au sein de chaque catégorie (i.e., /i/ et /e/) après localisation de la frontière phonémique dans la tâche d'identification.

La tâche d'identification suit le plan expérimental $S \times V_8$ (Abdi, Edelman, Valentin, & Dowling, 2009) où S représente le facteur aléatoire « Sujet » et V le facteur fixe à mesures répétées « Voyelle sur le continuum /i/-/e/ » à huit modalités correspondant chacune à la position de la voyelle sur le continuum, 1 étant le prototype /i/, 8 le prototype /e/.

La tâche de discrimination suit le plan expérimental $S \times P_7$ où S est le facteur aléatoire « Sujet » et P le facteur fixe à mesures répétées « Paire de voyelles adjacentes sur le

continuum » à sept modalités correspondant aux différentes paires de voyelles adjacentes possibles sur le continuum de /i/ vers /e/.

1.3.2 L'effet d'aimant perceptif : étude en potentiels évoqués

Il n'existe à notre connaissance que deux tentatives de mise en évidence de l'effet d'aimant perceptif avec la méthode des potentiels évoqués (Aaltonen, et al., 1997; Sharma & Dorman, 1998). Seuls Aaltonen, et al. (1997) ont répliqué cet effet à la fois à partir de données comportementales et en potentiels évoqués. Toutefois, l'effet est restreint aux seuls participants considérés comme de « bons catégoriseurs ». Afin de contribuer à une meilleure compréhension du niveau de traitement dont l'effet d'aimant perceptif relève, il semble donc essentiel d'apporter des compléments à l'étude de la distorsion de l'espace acoustique qui caractérise l'effet d'aimant perceptif, au moyen de données électrophysiologiques également.

Dans une deuxième partie de ce travail, nous étudierons la discrimination intra-catégorielle des voyelles françaises /i/ et /e/ en potentiels évoqués en examinant la MMN (*Mismatch Negativity*). La « Mismatch Negativity » (MMN) ou « négativité de discordance » est une composante électroencéphalographique fronto-centrale négative reflétant la détection d'un changement discriminable dans une séquence de stimuli auditifs (Pulvermüller & Shtyrov, 2006). Elle est mise en évidence dans un paradigme *oddball* qui consiste à présenter des stimuli rares appelés « déviants » parmi des stimuli répétés appelés « standards ». C'est une réponse automatique et indépendante de l'attention : elle est générée que le participant soit attentif ou non aux stimuli. Les études montrent qu'elle est générée essentiellement dans le cortex temporal supérieur (Pulvermüller & Shtyrov, 2006). La MMN est le signe d'un processus perceptif de comparaison automatique du stimulus déviant et d'une représentation neuronale en mémoire formée par la présentation des stimuli standards. Pulvermüller et Shtyrov (2006) reconnaissent trois avantages à l'étude de la MMN: son automaticité, sa précocité, et la perspective qu'elle ouvre sur le suivi des réponses du cerveau à des éléments linguistiques isolés. Cette composante est sensible à des changements de différentes natures dans les caractéristiques des stimuli auditifs : acoustiques, phonologiques, lexicaux, sémantiques ou syntaxiques (pour des revues, (Kujala, Tervaniemi, & Schroger, 2007; Pulvermüller & Shtyrov, 2006). Elle peut être induite par des sons de la langue au sein desquels les fréquences de formants changent (Aaltonen, et al., 1997; Sharma & Dorman, 1998). La localisation et la latence de la MMN varient en fonction des caractéristiques des stimuli auditifs (Pulvermüller & Shtyrov, 2006). L'amplitude de la MMN augmente et sa latence diminue avec la diminution de la probabilité d'apparition des stimuli déviants et avec

l'augmentation des différences acoustiques entre stimuli standards et déviants (Näätänen & Picton, 1987). Cette onde a été utilisée dans les deux études en potentiels évoqués testant l'effet d'aimant perceptif (Aaltonen, et al., 1997; Sharma & Dorman, 1998).

Nous présenterons des voyelles dans un paradigme *oddball*, et d'après les caractéristiques de la MMN, nous nous attendons à observer une MMN de faible amplitude et de latence élevée dans les conditions présentant des stimuli proches des prototypes des catégories (i.e., aux extrémités du continuum), ce qui traduirait une faible sensibilité. Nous nous attendons à ce que la MMN augmente en amplitude et diminue en latence de façon graduelle en s'éloignant des prototypes des catégories.

Le plan expérimental de l'expérience en potentiels évoqués suit le même plan expérimental que la tâche de discrimination : $S \times P_7$ où S représente le facteur aléatoire « Sujet » ; P le facteur fixe à mesures répétées « Paire de voyelles adjacentes sur le continuum » correspondant aux différentes paires de voyelles adjacentes sur le continuum /i-/e/.

2 Cadre expérimental

2.1 Données comportementales : Tâches d'identification et de discrimination

2.1.1 Méthodologie du travail

2.1.1.1 Participants

35 locuteurs (33 femmes et 2 hommes) de langue maternelle française et non bilingues ont accepté de participer à l'expérience. Les participants étaient âgés de 18 à 28 ans ($M = 20.9$; $SD = 2.1$), et ont déclaré ne pas présenter de troubles de l'audition, ni du langage. Le groupe de participants était composé d'étudiants de l'Université Lyon 2 en Licence 2 et Master 1 de Science du Langage, Master 1 de Neuropsychologie, Master 2 de Psychologie cognitive, d'étudiants en première année d'Orthophonie à l'Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation à Lyon et d'un étudiant en Master 2 de Neuropsychologie l'Université de Strasbourg. Les participants ont tous signé un formulaire de consentement au début de l'expérience.

2.1.1.2 Matériel

Huit voyelles du continuum /i/-/e/ ont été synthétisées avec le logiciel Praat¹ (Boersma & Weenink, 2011). Le choix d'un continuum présentant sept intervalles a été fait pour potentiellement disposer à la fois d'exemplaires proches des prototypes catégoriels et de plusieurs exemplaires éloignés à différentes distances des prototypes et ce de chaque côté de la frontière phonémique entre les deux prototypes /i/ et /e/. Les extrémités du continuum étaient les voyelles /i/ et /e/ ayant reçu le meilleur taux de catégorisation par des participants français dans une étude menée par Al-Tamimi (2007). Les voyelles sont constituées de plusieurs formants acoustiques qui représentent la résonance naturelle du conduit vocal (Sawusch, 2008). Delattre, Liberman, Cooper, et Gerstman (1952) ont montré que les deux premiers formants (F1 et F2) suffisent toujours à l'identification des voyelles. Les voyelles constituées variaient donc au niveau de la fréquence de F1 et F2. Chaque stimulus était séparé de ses voisins par une distance acoustique égale de 0.16 Bark dans l'espace F1-F2 (i.e., entre chaque stimulus le long du continuum la différence était de 0.14 Bark dans la fréquence de F1 et de 0.09 Bark dans la fréquence de F2). Cette échelle des Bark a été utilisée dans notre étude pour créer des stimuli espacés de manière égale au niveau auditif. L'échelle acoustique objective des Hertz, couramment utilisée pour représenter les sons, ne reflète pas la manière dont l'audition humaine traite le signal acoustique. Dans les basses fréquences, jusqu'à 500 Hz, la relation entre les différences objectives de fréquence et les différences de hauteur perçues est approximativement linéaire ; au-delà de 500 Hz, cette relation est de type logarithmique, c'est-à-dire que la résolution de fréquence diminue. On appelle couramment les résolutions de fréquences humaines les « bandes critiques ». L'échelle des Bark revient à utiliser ces bandes critiques et estime plus précisément la perception auditive humaine qu'une simple échelle linéaire. Les stimuli étaient identiques sur tous les autres paramètres. Les fréquences de formants étaient de 3100 Hz pour F3, 3500 Hz pour F4 et 4000 Hz pour F5. La bande passante était respectivement de 60, 140, 220, 300 et 380 Hz pour les cinq premiers formants. Pour chaque item, le contour de F0 augmentait de 120 à 132 Hz sur les premières 200 ms et redescendait à 96 Hz sur le reste du stimulus. Chaque voyelle durait 500 ms.

¹ Version 5.3

Tableau 1 : Fréquences de formants des voyelles du continuum créé (en Hertz).

Voyelle No.	F1	F2
1	250	2350
2	264	2320
3	278	2291
4	292	2262
5	306	2234
6	321	2205
7	335	2178
8	350	2150

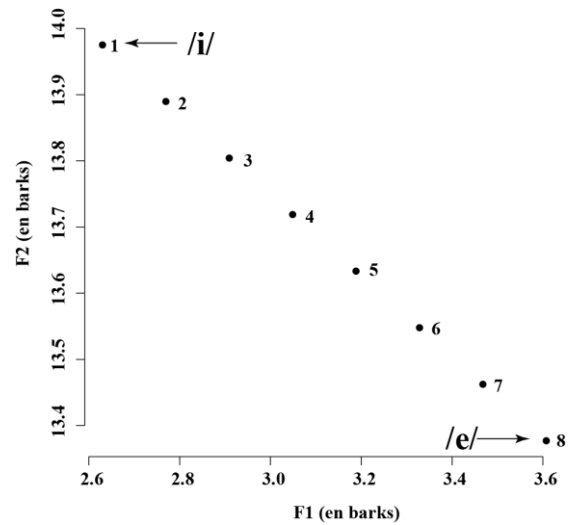


Figure 6 : Représentation des fréquences de formants des voyelles du continuum créé (en Bark).

2.1.1.3 Équipement

Les passations se sont déroulées dans la salle d'expérimentation du Laboratoire Dynamique du Langage de l'Institut des Sciences de l'Homme à Lyon. Les participants étaient assis devant un ordinateur et portaient un casque équipé de capsules TDH39 et de coques Peltor H7A leur permettant d'entendre les stimuli diffusés dans les deux oreilles à un niveau d'écoute confortable fixe pour tous les participants et dans les deux tâches, identification et discrimination. Le logiciel Presentation®² a servi à programmer les expériences.

2.1.1.4 Protocole expérimental

Tâche d'identification

Dans la tâche d'identification, les participants entendaient les voyelles synthétiques présentées isolément et devaient indiquer le plus rapidement possible s'il s'agissait de la voyelle /i/ comme dans le mot « lit » ou de la voyelle /e/ comme dans le mot « blé » en appuyant respectivement sur les touches I et E du clavier. Si aucune réponse n'était donnée dans les 2 secondes suivant le début de présentation du stimulus, le stimulus suivant était

² Version 14.9, www.neurobs.com

présenté. Chacune des huit voyelles était présentée dix fois dans un ordre aléatoire qui variait entre les sujets.

Tâche de discrimination

Dans la tâche de discrimination, les participants entendaient deux voyelles adjacentes sur le continuum à chaque présentation et devaient indiquer le plus rapidement possible si les stimuli étaient identiques ou différents en appuyant respectivement sur les touches L et M du clavier avec la main dominante. Chaque item (i.e., une paire de voyelles) présentait un ISI (intervalle inter-stimulus) de 500 ms. L'intervalle entre chaque item était de 1000 ms. Dans la moitié des items, les participants entendaient le même stimulus présenté deux fois (items *identiques*), dans l'autre moitié ils entendaient deux stimuli différents (items *différents*). La tâche de discrimination était composée de sept blocs de 128 items (i.e., 64 items *identiques* et 64 items *différents*). Dans chacun des blocs, une paire de stimuli voisins sur le continuum était présentée (A et B), la moitié des items *identiques* étaient de type AA, l'autre moitié de type BB et la moitié des items *différents* étaient de type AB, l'autre moitié de type BA. La constitution de chaque bloc est indiquée dans le Tableau 2 (*Fixed discrimination task*, Macmillan, et al. (1988)). L'ordre des items était aléatoire à l'intérieur des blocs et l'ordre des blocs étaient contrebalancé entre les sujets selon la méthode du carré latin. Chaque bloc était précédé d'une phase d'entraînement dans laquelle chaque item du bloc était présenté 3 fois.

Tableau 2 : Position sur le continuum des voyelles présentées pour chacun des blocs de la tâche de discrimination.

Numéro du bloc	Items identiques	Items différents
1	1-1 / 2-2	1-2 / 2-1
2	2-2 / 3-3	2-3 / 3-2
3	3-3 / 4-4	3-4 / 4-3
4	4-4 / 5-5	4-5 / 5-4
5	5-5 / 6-6	5-6 / 6-5
6	6-6 / 7-7	6-7 / 7-6
7	7-7 / 8-8	7-8 / 8-7

2.1.1.5 Analyse et traitement des données

Tâche d'identification

Pour chacune des voyelles du continuum, un pourcentage d'identification de la voyelle comme /i/ ou /e/ ainsi que des temps de réponse moyens ont été calculés. Pour chaque sujet,

les temps de réponses marginaux par voyelle ont été repérés à partir de boîtes à moustaches³ et retirés des analyses statistiques.

Tâche de discrimination

Les résultats de la tâche de discrimination ont été analysés dans le cadre de la théorie de la détection du signal (Green & Swets, 1966). L'analyse de la sensibilité des sujets (A') a été réalisée à partir des taux de « Détections Correctes » (i.e., réponse *différent* quand les stimuli de l'item sont *différents*) et de « Fausses Alarmes » (i.e., réponse *différent* quand les stimuli de l'item sont *identiques*) (Abdi, 2007; Green & Swets, 1966) (cf. Équation 1) pour chaque condition et pour chaque participant. L'indice A' est l'équivalent non-paramétrique de l'indice d' (d prime) de la théorie de détection du signal⁴. Une valeur de A' proche de 1.0 indique une bonne discrimination alors qu'un A' autour de 0.5 indique des réponses proches du hasard. L'analyse a été effectuée à partir de fonctions codées pour le logiciel R (Pallier, 2002).

Équation 1 : Calcul de l'indice de sensibilité A'

$$A' = \begin{cases} 1/2 + \frac{(DC - FA) * (1 + DC - FA)}{4 * DC * (1 - FA)} & (DC > FA) \\ 1/2 - \frac{(FA - DC) * (1 + FA - DC)}{4 * FA * (1 - DC)} & (FA > DC) \end{cases}$$

Pour chacun des participants, des temps de réponses moyens ont été calculés pour les bonnes réponses (i.e., *Détections Correctes* + *Rejets Corrects*) de chacune des conditions de la tâche de discrimination. Pour chaque condition, les temps de réponses marginaux ont été repérés à partir de boîtes à moustaches et retirées des analyses statistiques. Les temps de réponses de tous les participants ont ensuite été normalisés à l'aide de la fonction de transformation Box-Cox (Box & Cox, 1964) à deux paramètres suivant l'équation suivante :

Équation 2 : Equation de transformation Box-Cox

$$y^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{(y + \lambda_2)^{\lambda_1} - 1}{\lambda_1} & (\lambda_1 \neq 0), \\ \log(y + \lambda_2) & (\lambda_1 = 0). \end{cases}$$

³ Les valeurs situées à plus de 1.5 intervalle interquartiles en-deçà et au-delà des premier et troisième quartiles respectivement sont considérées comme données marginales.

⁴ Le calcul de d' s'appuie sur les postulats de la normalité des distributions du signal et du bruit et de l'égalité de leurs écart-types. Ne pouvant pas vérifier ces critères dans une tâche de discrimination, nous avons préféré, comme le conseillent certains chercheurs, utiliser l'indice de sensibilité non paramétrique A' (Stanislaw & Todorov, 1999).

La transformation a été réalisée avec le logiciel R⁵ (fonction : `boxcox.fit()`) et les valeurs des paramètres lambdas étaient les suivantes : $\lambda_1 = 2.1$ et $\lambda_2 = 2.9e-04$.

2.1.2 Hypothèses opérationnelles

Selon Iverson et Kuhl (1995), l'effet d'aimant perceptif s'observe selon deux critères :

1. Un taux de discrimination faible autour des prototypes et plus fort loin des prototypes.
2. Un taux de discrimination négativement corrélé au taux d'identification.

Hypothèses pour la tâche d'identification

Les voyelles situées aux extrémités du continuum (voyelles 1 et 8) sont censées être les meilleurs exemplaires des catégories, elles devraient donc présenter les taux d'identification (en pourcentage d'identification) les plus élevés. Les taux d'identification devraient diminuer en s'éloignant des extrémités vers le centre du continuum jusqu'à un taux d'identification d'environ 50% indiquant la localisation de la frontière phonémique.

Les temps de réponses moyens devraient être plus courts pour les voyelles prototypiques situées aux extrémités du continuum et ils devraient augmenter en s'éloignant des extrémités vers le centre du continuum pour atteindre une valeur maximale indiquant la localisation de la frontière phonémique.

Hypothèses pour la tâche de discrimination

La mesure A' de sensibilité devrait être faible autour des meilleurs exemplaires et augmenter en s'en éloignant. Les hypothèses de la tâche de discrimination s'appuient sur les résultats en identification : la mesure de sensibilité A' devrait être minimale dans les conditions pour lesquelles les stimuli ont les taux d'identification les plus élevés alors que dans les conditions pour lesquelles les stimuli ont les taux d'identification faibles, la mesure de sensibilité A' devrait être élevée. Ainsi selon nos hypothèses pour la tâche d'identification, la mesure de sensibilité A' devrait être minimale en conditions 1 et 7, augmenter en conditions 2 et 6, augmenter davantage en conditions 3 et 5 et présenter un pic au niveau de la frontière catégorielle en condition 4.

Les temps de réponses moyens devraient être plus élevés autour des meilleurs exemplaires des catégories et diminuer en s'en éloignant jusqu'à une valeur minimale au

⁵ Version 2.12.2 (25-02-2011)

niveau de la frontière catégorielle. Ainsi, les temps de réponses moyens (en millisecondes) devraient être plus élevés en condition 1 et 7 et diminuer en s'éloignant des extrémités du continuum jusqu'au centre du continuum, où les temps de réponses moyens (en ms) devraient être les plus faibles en condition 4.

2.1.3 Résultats

Deux participants ont été retirés des analyses car ils ont répondu à un nombre marginalement bas d'items dans la tâche de discrimination (13_MAR et 18_MOH), un autre participant a été retiré des analyses car il s'est trompé de touche de réponse dans la tâche d'identification (32_DRI), cinq autres participants ont enfin été retirés des analyses car leurs réponses sur l'ensemble des conditions de la tâche de discrimination ne différaient pas du hasard selon un test binomial (05_FRA, 16_SER, 17_VIG, 23_GOR et 31_LEO). Au total, les analyses portent donc sur 27 participants.

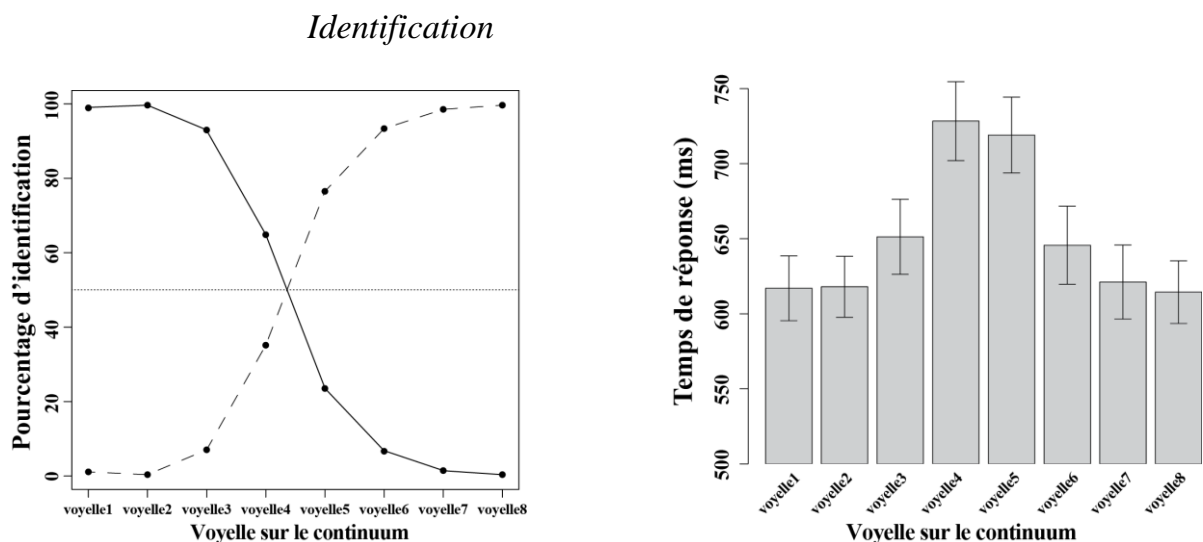


Figure 7: (Gauche) Courbes d'identification moyennées sur tous les sujets des voyelles /i/ (ligne continue) et /e/ (ligne pointillée) en fonction de la voyelle sur le continuum présentée. (Droite) Temps de réponse moyens dans la tâche d'identification en fonction de la voyelle sur le continuum présentée.

Cette analyse montre que sur l'ensemble des participants, la frontière phonémique se situe entre les voyelles 4 (67.46% d'identification de /i/) et 5 (76.48% d'identification de /e/). Les voyelles 1, 2, 3 et 4 ont respectivement obtenu 98,9%, 99,6%, 93,0% et 67,5% d'identification de /i/ et que les voyelles 5, 6, 7 et 8 ont obtenu respectivement 76,5%, 93,3%, 98,5% et 99,6% d'identification de /e/.

L'analyse des temps de réponse pour l'ensemble des participants montre des temps de réponses maximaux pour les voyelles 4 ($M = 729$ ms ; $SD = 113$ ms) et 5 ($M = 712$ ms ;

SD = 129 ms) qui diminuent vers les voyelles 1 (M = 617 ms ; SD = 115 ms) et 7 (M = 621 ms ; SD = 129 ms), extrémités du continuum.

Discrimination

Les mesures de sensibilité A' sont globalement faibles ($M_{A'} = 0.69$; SD = 0,13) sur l'ensemble des participants. Néanmoins, une analyse de la variance à un facteur à mesures répétées montre un effet significatif du facteur « condition » sur l'indice A', $F(6, 26) = 5.32, p = 5.11e-05$.

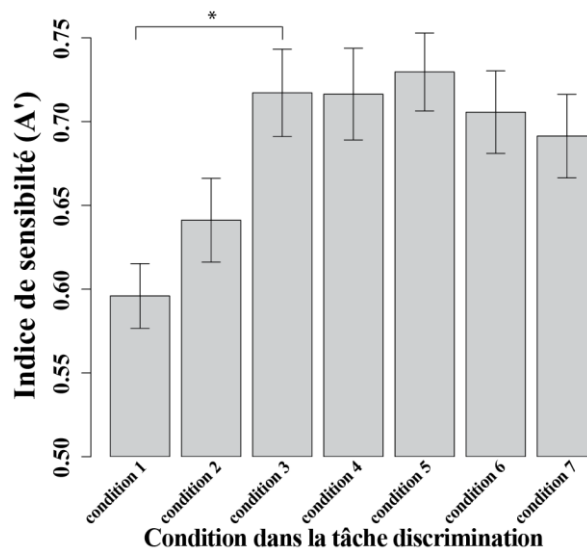


Figure 8: Indice de sensibilité A' dans la tâche de discrimination en fonction des différentes conditions. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard. L'astérisque indique une différence significative entre les conditions signalées. Les différences significatives inter catégorielles ne sont pas rapportées.

Des tests post-hoc de comparaisons multiples avec le test de Tukey (fonction R : `TukeyHSD()`) montrent que les différences sont observées entre les conditions 1 ($M_{A'} = 0.60$; SD = 0.10) et 3 ($M_{A'} = 0.72$; SD = 0.14 ; $p = 0.01$), entre les conditions 1 et 4 ($M_{A'} = 0.72$; SD = 0.14 ; $p = 0.01$), entre les conditions 1 et 5 ($M_{A'} = 0.73$; SD = 0.12 ; $p = 0.002$) et entre les conditions 1 et 6 ($M_{A'} = 0.71$; SD = 0.13 ; $p = 0.03$).

L'analyse des temps de réponses transformés dans la tâche de discrimination ne montre pas d'effet significatif du facteur « condition » sur les temps de réponses, $F(6, 26) = 1.59, p = 0.15$.

2.1.4 Discussion

L'objectif de cette première expérience était de répliquer l'effet d'aimant perceptif avec des mesures comportementales sur des voyelles du français. Selon Iverson et Kuhl (1995), l'effet d'aimant perceptif s'exprime par une discrimination minimale autour des prototypes catégoriels et une meilleure discrimination en s'éloignant des prototypes. Pour montrer cet effet, nous avons donc mis en place une tâche d'identification et une tâche de discrimination sur des voyelles d'un continuum entre les voyelles du Français /i/ et /e/.

Les objectifs de la tâche d'identification étaient de déterminer la position de la frontière phonémique sur le continuum /i/-/e/ et de s'assurer que les voyelles situées aux extrémités du continuum étaient bien les meilleurs exemplaires des deux catégories considérées.

Nos hypothèses situaient la frontière phonémique entre les voyelles 4 et 5. Au niveau des pourcentages d'identification, nous nous attendions à ce que les voyelles de 1 à 4 soient identifiées majoritairement comme /i/ et que les voyelles de 5 à 8 soient identifiées majoritairement comme /e/. Considérant la définition du prototype de Rosch (1975), nous nous attendions également à ce que les voyelles situées aux extrémités du continuum recueillent les pourcentages d'identification les plus élevés, nous permettant ainsi de les considérer comme prototypes respectifs des catégories /i/ et /e/. Au niveau des temps de réponse pour l'identification, nous attendions des temps de réponses maximaux pour les voyelles au centre du continuum indiquant la frontière phonémique pour les voyelles 4 et 5 et des temps de réponses minimaux indiquant les exemplaires prototypiques pour les voyelles extrêmes.

Les résultats dans cette tâche pour l'ensemble des participants valident nos hypothèses. En effet, les voyelles 1 à 4 sont bien catégorisées comme /i/ et les voyelles 5 à 8 comme /e/, positionnant la frontière phonémique entre les voyelles 4 et 5. Les voyelles situées aux extrémités du continuum obtiennent les taux d'identification les plus élevés, proches de 100 % d'identification. La voyelle 2 (99,6%) a obtenu un taux d'identification de /i/ sensiblement plus élevé que la voyelle 1 (98,9%), ce qui pourrait laisser penser que la voyelle 2 est un meilleur exemplaire de la catégorie /i/. Il faut néanmoins considérer que, pour chaque participant, le nombre de présentations d'une même voyelle dans cette tâche n'était que de dix. Les faibles différences dans le taux d'identification obtenues entre les voyelles 1 et 2 pourraient alors être le fait d'erreurs de frappe de la part des participants.

Au niveau des temps de réponse, les voyelles 4 ($M = 790$ ms ; $SD = 133$ ms) et 5 ($M = 712$; $SD = 129$ ms) ont obtenu les temps de réponse les plus longs ce qui confirme

la position de la frontière phonémique entre ces deux voyelles. Les voyelles extrêmes obtiennent quant à elles les temps de réponses les plus courts ce qui confirme le statut de prototype des voyelles 1 ($M = 617$ ms ; $SD = 115$ ms) et 8 ($M = 621$ ms ; $SD = 129$ ms).

Pour l'interprétation de la tâche de discrimination, nous considérerons donc, sur la base des résultats de la tâche d'identification, que la frontière phonémique se situe entre les voyelles 4 et 5 pour l'ensemble des participants. Nous considérerons également que les voyelles 1 et 8 sont les prototypes respectifs des catégories /i/ et /e/.

Cette tâche d'identification aurait pu être complétée par une tâche de jugement de valeur afin de s'assurer du statut de prototype des voyelles 1 et 8 et de mettre en évidence de façon plus précise la structure interne des catégories comme cela a été fait dans d'autres recherches (Aaltonen, et al., 1997; Iverson & Kuhl, 1995; Kuhl, 1991; Miller, 1994; Tomaschek, et al., 2011).

Les objectifs de la tâche de discrimination étaient de mettre en évidence un effet d'aimant perceptif pour les catégories vocaliques /i/ et /e/. En accord avec les critères de détermination de cet effet définis par Iverson et Kuhl (1995), nous nous attendions à ce que la discrimination soit la moins bonne autour des prototypes des catégories déterminés dans la tâche d'identification et qu'elle augmente dans les conditions impliquant des voyelles plus éloignées jusqu'à atteindre un maximum dans la condition impliquant les voyelles autour de la frontière phonémique (i.e., condition 4). Nos hypothèses impliquaient les mêmes schémas de réponses dans les deux catégories /i/ et /e/, puisque selon la théorie du développement de la perception du langage proposée par Kuhl (1994) l'effet d'aimant perceptif présente un caractère systématique et vient modeler toutes les catégories phonémiques du sujet.

L'analyse des résultats dans la tâche de discrimination montre tout d'abord que les voyelles présentées dans cette tâche sont globalement mal discriminées par les participants puisque, toutes conditions confondues et sur l'ensemble des participants, le score moyen de discrimination A' est faible ($M_{A'} = 0.69$, $SD = 0,13$). Cette première observation peut s'expliquer par le fait que la distance acoustique entre les voyelles adjacentes sur le continuum était très faible et en dessous du seuil de perception déterminé par Flanagan (1955) qui se situe entre 2 et 5% de la valeur de fréquence du formant. Dans notre étude, les distances acoustiques entre les stimuli que nous avons synthétisés se situaient autour de 1% des valeurs des formants 1 et 2. Néanmoins, l'analyse de la variance réalisée montre un effet

significatif du facteur « condition », c'est-à-dire que la sensibilité n'est pas la même entre les différentes paires de voyelles adjacentes sur le continuum présentées.

Les résultats de l'analyse post hoc ne montrent aucun effet d'aimant perceptif autour du /e/ (i.e., des conditions 5 à 7) : les sons proches et éloignés du prototype de la catégorie /e/ sont discriminés de la même manière. Dans la catégorie du /i/ (i.e., des conditions 1 à 3) en revanche, une différence émerge entre les conditions 1 et 3, c'est-à-dire que les voyelles présentées dans la condition 3, éloignées du prototype de la catégorie /i/, sont mieux discriminées que les voyelles présentées dans la condition 1 qui incluent le prototype de la catégorie. Cette différence de sensibilité pourrait correspondre à un effet d'aimant perceptif. Aucune différence significative n'apparaît entre les conditions 1 et 2, ni entre les conditions 2 et 3. Ce résultat peut encore une fois résulter de la distance acoustique entre les stimuli qui serait trop petite pour que des différences perceptives entre des conditions adjacentes puissent émerger.

Le fait d'observer un effet d'aimant perceptif du côté de la voyelle /i/ et aucun effet du côté de la voyelle /e/ montre que ces catégories vocaliques sont organisées différemment au niveau perceptif. Ce résultat nous laisse donc penser que l'effet d'aimant perceptif pourrait être lié aux caractéristiques articulatoires et acoustiques des voyelles, puisqu'ici nous avons obtenu un effet pour la voyelle quantique /i/ mais aucun pour la voyelle non quantique /e/ (Stevens, 1989). L'analyse post-hoc montre une différence tendancielle ($p = 0.09$) entre les conditions 1 et 7, c'est-à-dire les conditions impliquant les prototypes catégoriels. Cette observation suggère que la discrimination n'est pas la même autour des prototypes des deux catégories, ce qui viendrait confirmer l'idée d'un statut différent des prototypes selon les catégories considérées et appuyer l'idée selon laquelle l'effet d'aimant perceptif serait lié à certaines caractéristiques acoustiques spécifiques à chaque phonème.

Nous attendions un pic de discrimination en condition 4 qui traduirait l'effet de frontière. L'absence de pic reflète probablement le caractère continu de la perception entre les voyelles /i/ et /e/. En témoigne notamment la faible pente d'identification pour ces voyelles, ce qui traduit un faible degré catégoriel des deux voyelles considérées.

Les résultats de l'analyse post-hoc montrent des différences significatives entre les conditions 1 et 4, 1 et 5, et entre les conditions 1 et 6. Nous n'interprétons pas ces différences puisque la frontière se situant, d'après la tâche d'identification, entre les voyelles 4 et 5 (i.e., condition 4), il s'agit de différences entre des catégories phonémiques différentes qui ne sont pas l'objet de notre étude.

L'absence d'effet de la condition sur les temps de réponse est cohérente avec les trop faibles distances acoustiques entre les stimuli présentés dans la tâche de discrimination.

Les deux expériences comportementales que nous avons menées ne répliquent pas de manière convaincante l'effet d'aimant perceptif. En effet, nous n'avons pu observer cet effet qu'entre deux paires de voyelles et seulement pour la voyelle /i/. Aucun effet n'apparaît pour la voyelle /e/. Le faible effet que nous obtenons tient probablement au fait que les voyelles que nous avons utilisées n'étaient pas suffisamment éloignées en termes acoustiques. Il est cependant intéressant de remarquer que les voyelles /i/ et /e/ présentent des profils de perception différents, ce qui semblerait traduire une organisation interne différente. Les voyelles de la catégorie /e/ sont discriminées de la même manière, qu'elles soient éloignées ou proches du prototype. Tandis que dans la catégorie du /i/, les voyelles éloignées du prototype sont mieux discriminées que celles qui en sont proches. Ceci vient remettre en question la théorie du développement du langage développée par Kuhl qui suggère que toutes les catégories phonémiques de la langue du sujet devraient présenter un effet d'aimant perceptif.

2.2 Données électroencéphalographiques

2.2.1 Méthodologie du travail

2.2.1.1 Participants

21 participants ayant participé à la partie comportementale ont accepté de revenir pour deux séances d'enregistrement en électroencéphalographie. Tous ces participants avaient auparavant affirmé être droitiers et ne pas présenter de troubles de l'audition, ni du langage. Les participants signaient un formulaire de consentement au début de chacun des enregistrements et étaient défrayés pour leur participation (10€/heure).

2.2.1.2 Matériel

Les mêmes stimuli que dans les expériences comportementales ont été employés. Nous avons utilisé le paradigme *oddball*, qui consiste à présenter une séquence de stimuli identiques (standards) entrecoupés de stimuli déviants. Le nombre de stimuli standards

consécutifs séparant les déviants variait de 3 à 5. L'intervalle entre chaque stimulus (ISI) était fixe: 500 ms. Afin de présenter chaque stimulus à la fois comme standard et comme déviant et afin de réduire la durée des sessions d'enregistrement, les participants venaient à deux sessions : dans une session, ils entendaient un stimulus x comme standard, dans l'autre, ils entendaient ce même stimulus x comme déviant. L'expérience était organisée en 7 blocs pour chaque session (cf. Tableau 3). Chaque bloc comportait 400 stimuli standards et 100 stimuli déviants (i.e., le déviant avait une probabilité d'apparition de 0.25). L'ordre des blocs était contrebalancé entre les sujets sur le principe du carré latin.

Tableau 3: Numéros des voyelles du continuum présentées dans les différents blocs de la tâche *oddball* pour chacune des deux sessions d'enregistrement.

Numéro du bloc	Session 1		Session 2	
	Standard	Déviant	Standard	Déviant
1	1	2	2	1
2	2	3	3	2
3	3	4	4	3
4	4	5	5	4
5	5	6	6	5
6	6	7	7	6
7	7	8	8	7

2.2.1.3 Équipement

Les passations se sont déroulées dans la salle d'enregistrement électrophysiologique isolée de l'Institut des Sciences de l'Homme à Lyon. Les sujets étaient placés devant un écran d'ordinateur diffusant un film muet sous-titré de leur choix. Il a été vérifié que les sujets ne portaient pas de boucles d'oreilles, piercings ou barrettes contenant du métal. Ils étaient équipés d'un bonnet comportant 32 électrodes actives (Electro-Cap International, INC. Ohio USA) selon le système international 10-20, ainsi que huit électrodes actives externes, placées sur le visage : 2 VEOG⁶, 2 HEOG⁷ (électro-oculogrammes verticaux et horizontaux permettant d'enregistrer les clignements et mouvements des yeux), une sur le nez, une sur la joue et deux sur les mastoïdes droit et gauche (cf. Figure 9). Les sujets portaient également un casque audio stéréo (Sennheiser HD-250 Linear 2), placé sur les

⁶ Vertical Electro-OculoGraphy : électro oculogrammes verticaux

⁷ Horizontal Electro-OculoGraphy : électro oculogrammes horizontaux

oreilles après la pose des électrodes. Il leur était demandé de bouger le moins possible et de minimiser les clignements des yeux pendant l'enregistrement afin d'éviter toute interférence avec le signal EEG ; les lentilles de contact augmentant le clignement des yeux, les sujets concernés ont été encouragés à porter leurs lunettes. Un filtrage a été effectué de telle sorte que la bande passante du signal numérique enregistré soit de 0.1 à 100 Hz. La fréquence d'échantillonnage était de 512 Hz avec une résolution d'amplitude de 24 bits. Le logiciel Presentation® a servi à programmer l'expérience ; la présentation des stimuli était synchronisée avec le système d'acquisition Biosemi⁸.

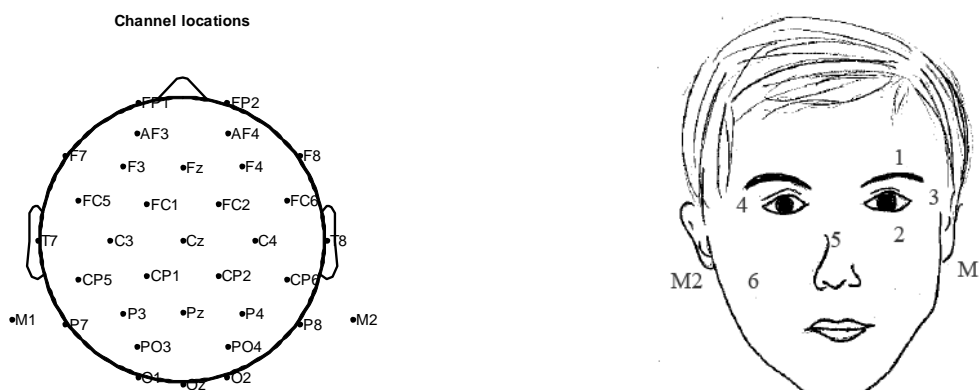


Figure 9 : Localisation des électrodes sur le scalp (à gauche) et des électrodes externes VEOG (n°1 et 2), HEOG (n°3 et 4), nez (n°5) (à droite) avec les deux électrodes de référence sur les mastoïdes (M1 et M2).

2.2.1.4 Protocole expérimental

Chaque session d'enregistrement durait 1h30 au total. Les participants signaient d'abord un formulaire de consentement accompagné d'une notice expliquant le fonctionnement de l'EEG. L'acquisition EEG durait une heure pendant laquelle tous les participants entendaient les stimuli par le biais d'un casque audio à un volume d'écoute confortable et regardaient un film sous-titré de leur choix. Deux courtes pauses étaient proposées au cours de l'enregistrement. À la fin des deux sessions d'enregistrement, le but de l'étude leur était expliqué et nous répondions à leurs questions.

⁸ Version 5.36, 6 février 2006

2.2.1.5 Analyse et traitement des données

Nous avons utilisé le logiciel Matlab⁹ avec le module ERPLAB¹⁰ de la toolbox EEGLAB¹¹ pour l'analyse des tracés EEG. Après avoir observé l'allure générale des tracés, les enregistrements, référencés aux mastoïdes, ont été segmentés en époques de -100 à 800 ms à partir du début du stimulus. Les segments (i.e. époques) ont été normalisés en prenant comme ligne de base la période précédant le début du stimulus (-100 à 0 ms), les enregistrements étant filtrés de telle sorte que la bande passante du signal soit de 0.1 à 30 Hz. Un rejet automatique des artefacts a été effectué sur les époques en considérant comme artefact tout tracé dont l'amplitude excédait $\pm 100 \mu\text{V}$. Les signaux ont ensuite été moyennés en fonction de la nature de la condition (conditions 1 à 7) pour chaque sujet. Pour chaque condition, nous avons dans un premier temps moyenné les réponses aux stimuli standards des deux blocs correspondants (e.g., standard *voyelle1 (session1)*/standard *voyelle2 (session2)* pour la condition1) et les réponses aux stimuli déviants (e.g., déviant *voyelle2 (session1)*/déviant *voyelle1 (session2)* pour la condition1). Nous avons ensuite soustrait les réponses aux stimuli standards des réponses aux stimuli déviants de chaque condition afin d'extraire les réponses MMN. En accord avec la littérature (Frenck-Mestre, Meunier, & Espesser, 2005; Näätänen, 2001; Näätänen, Pakarinen, Rinne, & Takegata, 2004; Polich, 2007; Pulvermüller & Shtyrov, 2006), nous avons effectué nos analyses sur la fenêtre [100 ; 200 ms] et sur l'électrode Fz (région fronto-centrale) (Aaltonen, et al., 1997; Polich, 2007; Pulvermüller, Shtyrov, & Ilmoniemi, 2005; Pulvermüller, Shtyrov, Kujala, & Näätänen, 2004; Sharma & Dorman, 1998).

2.2.2 Hypothèses opérationnelles

Nous voulions tester l'effet d'aimant perceptif au niveau électroencéphalographique, et postulions donc qu'il existe des corrélats cognitifs différents associés à la perception de voyelles prototypiques et de voyelles moins prototypiques. Pour cela, nous avons comparé les réponses électroencéphalographiques de participants français aux différentes voyelles du continuum /i/-/e/ que nous avons constitué dans un paradigme *oddball*. Nous avons émis l'hypothèse que les réponses en potentiels évoqués des participants devraient différer en fonction de la position sur le continuum des voyelles présentées. Selon la théorie de l'effet

⁹ Version 7.9.0, (R2009b)

¹⁰ Version 1.0.0.42

¹¹ Version 9.0.2.3b

d'aimant perceptif, des différences entre des stimuli proches du prototype d'une catégorie phonémique sont plus difficiles à discriminer que des différences équivalentes entre des stimuli éloignés du prototype de la catégorie (Kuhl, 1991). Des études sur la MMN ont montré que des éléments faciles à discriminer génèrent des réponses de plus forte amplitude et de plus courte latence que des éléments plus difficiles à discriminer (Aaltonen, Niemi, Nyrke, & Tuhkanen, 1987; Näätänen & Picton, 1987). Ainsi, nous nous attendions à ce que la MMN générée en réponse à la présentation de paires de voyelles proches des prototypes soit d'amplitude plus faible et de latence plus grande que celle produite lors de la présentation de paires de voyelles plus éloignées des prototypes vocaliques. Nos hypothèses opérationnelles portent donc sur les valeurs d'amplitude maximale et moyenne de la MMN en μV , ainsi que sur les valeurs de latence de la MMN en ms. Nous postulions que les valeurs d'amplitudes moyenne et maximale seraient minimales au niveau des prototypes vocaliques (i.e., conditions 1 et 7), et qu'elles augmenteraient en s'éloignant des prototypes (i.e., conditions 2 et 6, puis 3 et 5) pour atteindre des valeurs maximales au niveau de la frontière phonémique (i.e., condition 4). En termes de latence, les valeurs devraient être maximales autour des prototypes vocaliques (i.e., conditions 1 et 7), et diminuer en s'éloignant des prototypes (i.e., conditions 2 et 6, puis 3 et 5) pour atteindre des valeurs minimales au niveau de la frontière phonémique (i.e., condition 4). Nous hypothèses considérait que les schémas de réponse seraient les mêmes pour les deux catégories phonémiques considérées /i/ et /e/.

2.2.3 Résultats

Nous n'avons pu extraire d'onde négative de distribution fronto-centrale pouvant être considérée comme la MMN sur la fenêtre temporelle [100 ; 200 ms] pour aucune des conditions de l'expérience en potentiels évoqués que nous avons menée (cf. Figure 10).

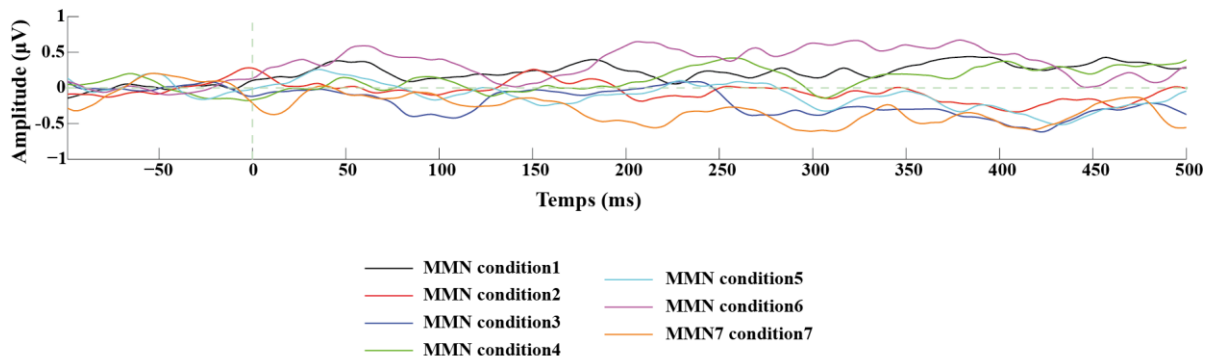


Figure 10 : Tracé moyen de la réponse MMN (i.e., différence entre les réponses aux stimuli déviants et aux stimuli standards) pour chaque condition de l'expérience oddball sur l'électrode Fz. Le temps 0 correspond à l'apparition d'un stimulus.

Des tests statistiques (test T de Student) montrent que l'amplitude moyenne des tracés des différences (i.e., déviants – standards) pour chaque condition sur l'ensemble des sujets est très faible et ne diffère statistiquement pas de 0 : $t_{(20)} = 0.69$; $p = 0.50$ pour la condition 1 ($M_{\text{Condition1}} = 0.23 \mu\text{V}$), $t_{(20)} = -0.03$; $p = 0.98$ pour la condition 2 ($M_{\text{Condition2}} = -0.01$), $t_{(20)} = -0.05$; $p = 0.96$ pour la condition 3 ($M_{\text{Condition3}} = -0.01$), $t_{(20)} = 0.40$; $p = 0.69$ pour la condition 4 ($M_{\text{Condition4}} = 0.12 \mu\text{V}$), $t_{(20)} = -0.47$; $p = 0.64$ pour la condition 5 ($M_{\text{Condition5}} = -0.08 \mu\text{V}$), $t_{(20)} = 1.34$; $p = 0.20$ pour la condition 6 ($M_{\text{Condition6}} = 0.41 \mu\text{V}$) et $t_{(20)} = -1.51$; $p = 0.15$ pour la condition 7 ($M_{\text{Condition7}} = -0.38 \mu\text{V}$). Les valeurs d'amplitude maximale diffèrent quant à elles statistiquement de 0 ; cependant, la moyenne de ces valeurs sur tous les participants pour chaque condition est tellement faible (i.e., inférieure à $-1.15 \mu\text{V}$ pour toutes les conditions) qu'on ne peut conclure à la présence d'une MMN. Pour comparaison, l'étude d'Aaltonen, et al. (1997) présente une amplitude moyenne de MMN de $-3.40 \mu\text{V}$ autour du non prototype et de $-2.77 \mu\text{V}$ autour du prototype pour le groupe de sujets considérés comme de bons catégoriseurs.

2.2.4 Discussion

L'objectif de cette deuxième expérience était de répliquer l'effet d'aimant perceptif dans une tâche en potentiels évoqués. L'utilisation de ce type de tâche et l'étude d'une onde indépendante de l'attention comme la MMN permettaient de s'affranchir des contraintes liées à une tâche comportementale (i.e. processus décisionnels etc.).

Nous souhaitons observer la MMN, qui est l'indice d'une discrimination entre deux sons. La littérature sur la MMN affirme que l'amplitude de cette onde augmente et sa latence

diminue avec la sensibilité à une différence (Näätänen & Picton, 1987). Nous nous attendions donc, en lien avec la théorie de l'effet d'aimant perceptif, à une MMN de faible amplitude et de grande latence dans les conditions impliquant des stimuli proches des prototypes des catégories. Inversement, nous attendions une MMN de plus grande amplitude et de plus courte latence dans des conditions impliquant des stimuli plus éloignés des prototypes catégoriels. Le fait d'observer l'effet d'aimant perceptif avec la MMN en potentiels évoqués nous permettrait de montrer qu'il relève de processus pré-attentifs sensibles à des différences à l'intérieur des catégories de voyelles. Cette étude avait également pour objectif de vérifier l'hypothèse selon laquelle l'effet d'aimant perceptif devrait s'appliquer à tous types les voyelles, c'est-à-dire que nous émettions l'hypothèse d'un effet d'aimant perceptif dans la catégorie du /e/ comme dans la catégorie du /i/.

Les résultats de cette étude ne montrent pas de MMN. La MMN correspondant à la différence entre les stimuli déviants et standards, nous avons observé les tracés des ondes générées en réponse à la présentation des stimuli déviants d'une part et standards d'autre part pour chaque condition. L'observation de ces tracés explique l'absence de MMN puisque les réponses produites lors de la présentation des stimuli déviants ne diffèrent pas de celles produites lors de la présentation des stimuli standards et ce, quelle que soit la condition considérée (cf. Figure 11).

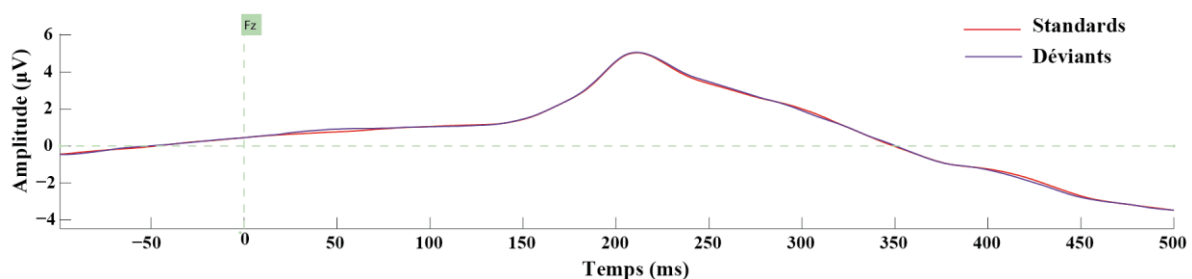


Figure 11: Tracé moyen des ondes générées en réponse aux stimuli standards (rouge) et déviants (bleu) toutes conditions confondues sur l'électrode Fz.

L'absence de MMN confirme que les voyelles présentées dans les différentes conditions du paradigme *oddball* ne sont pas discriminées par les participants. Comme nous l'avons proposé pour rendre compte de nos résultats comportementaux, les voyelles présentées dans chaque paire ne devaient pas être suffisamment éloignées l'une de l'autre sur le plan acoustique pour permettre de les distinguer à un niveau perceptif.

Si le choix des stimuli et de leurs distances acoustiques semble être l'explication la plus évidente de l'absence de MMN dans notre étude, d'autres explications peuvent être

envisagées. En effet, il est également possible que le système d'acquisition EEG et la procédure d'analyse soient en cause. Cette hypothèse est d'autant plus à envisager que les réponses cérébrales aux stimuli standards devraient au moins présenter le complexe N1-P2 (Näätänen et al., 1997) qui est généré à la présentation de tout son non prédictible en l'absence de tâche, ce qui n'est pas le cas ici. N'ayant pas mis en place de condition contrôle dans ce paradigme, il nous est impossible à l'heure actuelle de vérifier cette hypothèse. Tester le paradigme avec une condition présentant les voyelles extrêmes du continuum que nous considérons comme prototypes des catégories /i/ et /e/ (i.e, les voyelles 1 et 8), et pour laquelle il n'y aurait aucun doute sur la bonne discrimination des sons et donc sur la génération d'une réponse MMN permettrait de s'assurer que le matériel fonctionne correctement et que l'absence de MMN dans notre étude ne résulte pas d'une défaillance du système d'acquisition ou de la procédure d'analyse.

La procédure choisie dans notre paradigme nous amène également à nous poser des questions sur nos résultats. En effet, les deux études sur l'effet d'aimant perceptif en MMN menées précédemment et ayant montré des résultats mitigés présentaient des paradigmes différents. Sharma et Dorman (1998) ont utilisé un paradigme et une procédure sensiblement similaires à ceux que nous avons utilisés : ils présentaient des paires de voyelles adjacentes sur le continuum qu'ils avaient créé. Or cette étude n'a pas montré d'effet d'aimant perceptif, et les résultats montraient même une MMN de plus grande amplitude dans la condition proche du prototype par rapport à la condition présentant des stimuli plus éloignés du prototype de la catégorie. L'étude menée par Aaltonen, et al. (1997) a employé une procédure différente qui consistait à comparer la MMN générée pour des paires de voyelles éloignées de 30, 60, 90 et 120 Mel du prototype de la catégorie et la MMN générée pour des paires de voyelles éloignées de la même façon d'un non-prototype. Ceci leur a permis de mettre en évidence, au moins pour le groupe de participants considérés comme « bons catégoriseurs », que la MMN était plus grande pour les conditions présentant le non prototype que pour les conditions présentant le prototype. Ils ont également montré que l'effet du prototype diminuait à mesure de l'augmentation de la distance acoustique entre les sons présentés dans les paires (e.g., les différences entre la $MMN_{\text{prototype}}$ et la $MMN_{\text{non prototype}}$ étaient plus importantes pour les conditions P-30 et NP-30 que pour les conditions P-60 et NP-60 et ainsi de suite). L'utilisation d'une telle procédure semble plus adaptée à la mise en évidence de l'effet d'aimant perceptif en potentiels évoqués même si elle présente le désavantage de

demander de plus longues séances d'enregistrement et de ne tester l'effet que sur une seule catégorie de voyelle à la fois.

3 Discussion générale

Les études menées sur la perception des sons de la langue ont révélé une organisation interne riche des catégories phonémiques (Miller, 1994). Les sons d'une catégorie phonémique seraient organisés autour d'un exemplaire de la catégorie appelé prototype. Selon Iverson et Kuhl (1995), ce prototype jouerait un rôle particulier d'aimant perceptif et viendrait réduire l'espace perceptif entre les sons de la catégorie qui lui sont proches. Expérimentalement, cet effet se manifeste dans une tâche de discrimination dans laquelle la sensibilité aux différences entre les exemplaires proches du prototype serait moins bonne que celle entre des exemplaires éloignés du prototype. Cet effet a également été répliqué en potentiels évoqués avec des études sur la MMN. La MMN générée en réponse à la présentation de sons proches du prototype catégoriel présente une amplitude plus faible et une latence plus grande que celle générée en réponse à la présentation de sons éloignés du prototype. La plupart des études sur cet effet ont impliqué la voyelle /i/ qui selon Stevens (1989) présente des propriétés quantiques, c'est-à-dire qu'une faible variation dans l'espace articulatoire du /i/ entraîne un changement plus important au niveau perceptif que si ce changement était effectué dans une autre zone non quantique de l'espace vocalique. Mise en relation avec la théorie motrice développée par le groupe Haskins (Liberman et al., 1985) selon laquelle la perception de la parole et le contrôle articulatoire impliquent des processus neurologiques similaires, il apparaît que ces différents types de voyelles seraient représentés par des substrats cognitifs différents, au moins partiellement. Dans notre étude, il nous a donc paru nécessaire de tenter de répliquer l'effet d'aimant perceptif non seulement sur la voyelle /i/ du français, mais également sur une autre voyelle voisine dans l'espace vocalique mais ne présentant pas les mêmes propriétés quantiques, le /e/. Ainsi, nous nous assurons que l'effet peut être généralisé à d'autres types voyelles et qu'il n'est pas simplement le résultat des propriétés de certaines voyelles seulement.

Nous avons d'abord mis en place une tâche d'identification pour déterminer la position de la frontière phonémique sur le continuum que nous avons créé entre les voyelles /i/ et /e/, et pour nous assurer que les voyelles aux extrémités de ce continuum constituaient bien les prototypes des deux catégories pour l'ensemble des participants. Les résultats de la tâche

d'identification (pourcentages d'identification et temps de réponse) localisent la frontière catégorielle entre les voyelles 4 et 5 sur l'ensemble des participants et confirment que les voyelles 1 et 7 sont les meilleurs exemplaires des catégories /i/ et /e/ respectivement.

Nous avons ensuite mis en place une tâche de discrimination pour mettre en évidence l'effet d'aimant perceptif. Les résultats de la tâche de discrimination montrent tout d'abord que les participants discriminent mal les sons qui leur sont présentés.

Ce premier élément montre un biais méthodologique dans notre recherche qui est que les intervalles acoustiques entre les sons que nous avons synthétisés sont trop faibles pour permettre leur discrimination. Ceci pointe une des difficultés de l'étude de l'effet d'aimant perceptif : il est nécessaire de disposer d'au moins 3 exemplaires de chaque catégorie ; or l'espace acoustique sur lequel s'étendent les différentes catégories vocaliques de la langue française semble ne pas permettre de générer autant de stimuli tout en maintenant une distance entre chacun qui soit nettement supérieure au seuil différentiel de perception. Nous aurions pu choisir d'étudier l'effet d'aimant perceptif sur deux catégories phonémiques séparées par une plus grande distance acoustique, comme, par exemple, le /i/ et le /u/ (Calliope, 1989). Cependant, alors que les stimuli que nous avons générés entre /i/ et /e/ correspondent à des exemplaires possibles de ces deux catégories, l'espace acoustique entre /i/ et /u/ sur l'axe du 2^e formant vocalique, comporte une zone non exploitée par la langue française. Un continuum entre /i/ et /u/ nous aurait donc conduit à proposer des stimuli avec un contenu spectral totalement improbable en français. L'inclusion d'exemplaires naturels à côté d'exemplaires acoustiquement improbables dans une seule et même expérience aurait conduit à un biais rédhibitoire.

Les résultats de la tâche de discrimination montrent néanmoins un effet de la condition, c'est-à-dire de la position des voyelles à discriminer par rapport aux prototypes, sur la sensibilité A'. Les analyses post-hoc ont plus particulièrement révélé un effet dans la catégorie du /i/ : la discrimination des voyelles éloignées du prototype /i/ (condition 3) était meilleures que celle des voyelles proches des prototypes (condition 1). En revanche, cet effet n'apparaît pas dans la catégorie du /e/, où aucune différence n'est observée entre les différentes conditions. Malgré le biais que présente notre étude quant aux distances trop faibles entre deux stimuli adjacents, ces résultats amènent à questionner la théorie du développement perceptif du langage développée par Kuhl (1994). Selon Kuhl, au début de la vie les enfants sont capables de discriminer toutes les unités phonémiques des langues du monde et ceci est, d'après elle, l'indice que l'effet d'aimant perceptif des prototypes

phonémiques n'est pas encore développé. Dès 6 mois, sous l'effet de l'exposition à la langue maternelle, cette capacité phonémique universelle diminue, mais les capacités à discriminer les sons de sa langue maternelle augmentent considérablement, et, dès 10-12 mois, les individus ne sont plus capables de discriminer que les sons de leur langue maternelle et deviennent insensibles aux catégories phonémiques des langues étrangères non utilisées dans leur langue maternelle. Selon Kuhl, c'est l'effet d'aimant perceptif qui vient structurer les catégories phonémiques. L'acquisition de la langue maternelle nécessite donc une déformation de l'espace perceptif des catégories phonémiques, conduisant à une réduction des distances perceptives autour du prototype. Cette théorie fait donc le postulat que cet effet s'applique à toutes les catégories phonémiques de la langue du sujet. Ainsi, le fait que notre étude ne montre d'effet que pour l'une des deux catégories testées vient remettre en cause ce postulat et questionne le caractère systématique de l'effet d'aimant perceptif.

Nous souhaitons également observer l'effet d'aimant perceptif en potentiels évoqués puisque seulement deux études ont été menées sur le sujet (Aaltonen, et al., 1997; Sharma & Dorman, 1998) et que les résultats rapportés sont, pour le moins, nuancés. Les données que nous avons recueillies ne présentent pas de MMN, nous ne pouvons donc rien conclure quant à cette étude. Néanmoins, si l'on exclut les biais potentiels liés à l'appareillage et la procédure d'analyse, l'absence de MMN indique que les paires de voyelles que nous avons présentées dans la tâche n'étaient pas discriminées par les participants. Ceci est en accord avec les faibles taux de discrimination obtenus lors de la tâche comportementale pour laquelle les mêmes stimuli que ceux de l'expérience en électroencéphalographie étaient employés. Les résultats de l'étude en potentiels évoqués indiquent donc eux aussi que les distances acoustiques entre les stimuli que nous avons synthétisés n'étaient pas suffisamment grandes pour permettre une bonne discrimination et ainsi une réponse cérébrale spécifique aux stimuli déviants de chaque paire.

La question de la méthodologie employée dans la détermination des valeurs de prototypes, ainsi que celle, plus élémentaire encore, de l'universalité de ces prototypes, méritent d'être soulevées. Rien n'indique, à notre connaissance, qu'un exemplaire donné soit prototypique pour l'ensemble des participants, quand bien même ces participants seraient issus d'une seule et unique communauté linguistique. Il ne suffit pas, en effet, d'identifier systématiquement un stimulus comme membre d'une catégorie (ce qui a été fait dans notre tâche d'identification) pour déclarer que ce stimulus constitue le centre de la catégorie en question. Partant du postulat que le prototype d'une catégorie de voyelle pouvait être propre à

un individu, nous avons mené une expérience pilote dans laquelle les participants étaient invités à parcourir un espace vocalique de synthèse à la recherche des meilleurs exemplaires de /i/, /e/, /a/ et /ɛ/. L'algorithme employé est décrit dans Benders et Boersma (2009). Les résultats de cette expérience pilote montrent une très grande variabilité intersubjective dans les valeurs de formants des prototypes déterminés, en particulier pour les voyelles non quantiques, /e/ et /ɛ/. Ces résultats plaident en faveur de l'utilisation de prototypes individuels, différents d'un participant à l'autre, dans l'étude de l'effet d'aimant perceptif. Nous avons cependant dû renoncer à cette méthode. En effet, premièrement, l'utilisation des prototypes individuels associés au protocole expérimental que nous avons utilisé impliquerait des distances acoustiques entre les stimuli différentes selon les sujets. Deuxièmement, une phase de détermination de prototypes individuels aurait encore allongé la durée de nos expériences. Pour utiliser les prototypes individuels, il serait envisageable, comme l'ont fait Aaltonen, et al. (1997) de déterminer pour chaque participant un prototype et un non prototype et de comparer les effets autour du prototype et ceux autour du non-prototype. L'inconvénient de ce type d'étude est cependant qu'il ne permet de tester l'effet qu'autour d'une seule type de voyelle et qu'il nécessite donc de reproduire l'étude pour tester un autre type de voyelle.

Conclusion et perspectives de recherche

Ce travail avait pour objectif de répliquer l'effet d'aimant perceptif en français par des mesures comportementales et électrophysiologiques. L'originalité de ce travail était de tester l'effet en français et sur différents types de voyelles (i.e., quantique vs non quantique) afin de vérifier son caractère systématique. Bien que les résultats de cette étude ne soient pas concluants, ils nous permettent de mettre en évidence des biais méthodologiques et ainsi d'envisager de nouveaux axes de recherches pour poursuivre l'étude de l'effet d'aimant perceptif. Le problème méthodologique le plus important que nous avons identifié est celui des distances acoustiques entre les stimuli présentés. Ce biais nous permet de constater tout d'abord qu'il est primordial de s'assurer de ne pas présenter de sons dont les distances acoustiques se situent en-deçà du seuil limite de perception. Ensuite, il questionne le choix du type de phonème que l'on teste et par là même, le choix du type de procédure utilisée. L'idée serait, a posteriori, de tester des catégories phonémiques présentant un espace acoustique suffisamment étendu pour pouvoir créer une série de stimuli adjacents suffisamment espacés sans sortir de la catégorie. Il sera alors important de réétudier la question du paradigme et l'éventualité de tester des catégories différentes de façon indépendante en comparant pour chacune d'elles l'effet autour d'un prototype et celui autour d'un non prototype et ce, à des distances acoustiques différentes comme l'ont fait Aaltonen, et al. (1997). Ce type de paradigme nécessitera de contrôler très rigoureusement que tous les stimuli utilisés appartiennent bien à la catégorie étudiée (ce que les premières études sur l'effet d'aimant perceptif n'ont pas contrôlé). Les résultats de notre étude montrent, comme nous l'avions pressenti, qu'il est important de tester l'effet d'aimant perceptif sur différents types de catégories phonémiques puisqu'il semblerait qu'il ne soit pas systématique et pourrait relever des aspects spécifiques à certaines catégories. L'effet d'aimant perceptif repose certainement sur des prototypes individuels, ce qui rend primordial de mettre en place un paradigme expérimental spécifique, et a priori, le paradigme comparant prototype et non prototype semble être une solution satisfaisante. Il serait également intéressant de placer les voyelles en contexte pour maximiser l'effet, par exemple en les insérant dans des mots.

Références

Les références ont été consultées directement sauf un article signalé par un astérisque que nous n'avons pu nous procurer et pour lequel nous avons indiqué la provenance en fin de référence.

- Aaltonen, O., Eerola, O., Hellström, Ä., Uuispaikka, E., & Lang, A. H. (1997). Perceptual magnet effect in the light of behavioral and psychophysiological data. *Journal of the Acoustic Society of America*, 101, 1090-1105.
- Aaltonen, O., Niemi, P., Nyrke, T., & Tuhkanen, M. (1987). Event-related brain potentials and the perception of a phonetic continuum. *Biological Psychology*, 24(3), 197-207.
- Abdi, H. (2007). Signal detection theory (SDT). In N. Salkind (Ed.), *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Thousand Oaks (CA): Sage.
- Abdi, H., Edelman, B., Valentin, D., & Dowling, W.J. . (2009). *Experimental Design and Analysis for Psychology*. Oxford: Oxford University Press.
- Al-Tamimi, J. (2007). *Indices dynamiques et perception des voyelles: étude translinguistique en arabe dialectal et en français*. Université Lyon 2.
- Benders, T., & Boersma, P. (2009). *Comparing methods to find best exemplar in a multidimensional space*. Paper presented at the Interspeech, Brighton.
- Boersma, P., & Weenink, D. (2011). Praat: Doing phonetics by computer (Version 5.3).
- Bogliotti, C., Serniclaes, W., Messaoud-Galusi, S., & Sprenger-Charolles, L. (2008). Discrimination of speech sounds by children with dyslexia: comparisons with chronological age and reading level controls. *Journal of Experimental Child Psychology*, 101(2), 137-155.
- Bonnet, C., Ghiglione, R., & Richard, J. F. . (1989). *Traité de psychologie cognitive : Perception, Action, Langage* (Vol. 1). Paris: Dunod.
- Bosch, L., Costa, A., & Sebastian, N. (1997). *Vowel discrimination in early bilinguals and the perceptual magnet effect*. Paper presented at the 5th International Congress of the ISAPL, Porto.
- Box, G. E. P, & Cox, D. R. (1964). An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 26(2), 211-252.
- Calliope. (1989). *La parole et son traitement automatique*. Paris: Masson.
- Davis, K. D., & Kuhl, P. K. (1994). Tests of the perceptual magnet effect for American English /k/ and /g/. *Journal of the Acoustical Society of America*, 94(2576).
- Delattre, P. C., Liberman, A. M., Cooper, F. S., & Gerstman, L. J. (1952). An experimental study of the acoustic determinants of vowel colour; Observations on one- and two-formant vowels synthesized from spectrographic patterns. *Word*, 8, 195-210.
- Diesch, E., Iverson, P., Kettermann, A., & Siebert, C. (1999). Measuring the perceptual magnet effect in the perception of /i/ by German listeners. *Psychological Research*, 62, 1-19.
- Eimas, P. D. (1963). The relation between identification and discrimination along speech and non-speech continua. *Language and Speech*, 6, 206-217.
- Flanagan, James L. (1955). A Difference Limen for Vowel Formant Frequency. *Journal of the Acoustical Society of America*, 27(3), 613-617.
- Frenck-Mestre, C., Meunier, C., & Espesser, R. (2005). Perceiving Nonnative Vowels: The Effect of Context on Perception as Evidenced by Event-Related Brain Potentials. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 48, 1496-1510.

- Fry, D. B., Abramson, A. S., Eimas, P. D., & Liberman, A. M. (1962). The identification and discrimination of synthetic vowels. *Language and Speech*, 5, 171-189.
- *Fujisaki, H., & Kawashima, T. (1971). A model of the mechanisms for speech perception: Quantitative analysis of categorical effects in discrimination. 30, 59-68. Cité dans Repp (1984).
- Gerrits, E., & Schouten, M. E. (2004). Categorical perception depends on the discrimination task. *Perception and Psychophysics*, 66(3), 363-376.
- Green, D. M., & Swets, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. New York: John Wiley & Sons.
- Imbert, P., & Dupont, P. (1981/82). Les voyelles sont-elles perçues en mode continu ou en mode catégoriel? *Travaux de l'Institut de Phonétique d'Aix*, 8, 189-204.
- Iverson, P., & Kuhl, P. K. (1995). Mapping the perceptual magnet effect for speech using signal detection theory and multidimensional scaling. *Journal of the Acoustic Society of America*, 97(1), 553-562.
- Iverson, P., & Kuhl, P. K. (1996). Influences of phonetic identification and category goodness on American listeners' perception of /r/ and /l/. *Journal of the Acoustical Society of America*, 99, 1130-1140.
- Iverson, P., & Kuhl, P. K. (2000). Perceptual magnet and phoneme boundary effects in speech perception: do they arise from a common mechanism? *Perception and Psychophysics*, 62(4), 874-886.
- Kuhl, P. K. (1991). Human adults and human infants show a "perceptual magnet effect" for the prototypes of speech categories, monkeys do not. *Percept Psychophys*, 50(2), 93-107.
- Kuhl, P. K. (1994). Learning and representation in speech and language. *Current Opinion in Neurobiology*, 4, 812-822.
- Kuhl, P. K., Conboy, B. T., Coffey-Corina, S., Padden, D., Rivera-Gaxiola, M., & Nelson, T. (2008). Phonetic learning as a pathway to language: new data and native language magnet theory expanded (NLM-e). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Section B*, 363(1493), 979-1000.
- Kujala, T., Tervaniemi, M., & Schroger, E. (2007). The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: theoretical and methodological considerations. *Biological Psychology*, 74(1), 1-19.
- Liberman, A. M., Harris, K., Hoffman, H.S., & Griffith, B. (1957). The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries. *Journal of Experimental Psychology*, 54, 358-368.
- Liberman, A. M., Harris, K. S., Eimas, P., Lisker, L., & Bastian, J. (1961). An effect of learning on speech perception: The discrimination of durations of silence with and without phonemic significance. *Language and Speech*, 4, 175-195.
- Liberman, A. M., Harris, K. S., Kinney, J. A., & Lane, H. (1961). The discrimination of relative onset time of the components of certain speech and nonspeech patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 61, 379-388.
- Liberman, A. M., & Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21, 1-36.
- Lively, S. E. (1993). An examination of the perceptual magnet effects. *Journal of the Acoustic Society of America*, 93, 2423.
- Lively, S. E. (1997). On prototypes and phonetic categories: A critical assessment of the perceptual magnet effect in speech perception. *Journal of experimental psychology : Human Perception and Performance*, 23(6), 1665-1679.
- Lotto, A. J., Kluender, K. R., & Holt, L. L. (1998). Depolarizing the perceptual magnet effect. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103, 3648-3655.

- Macmillan, Neil A. , Goldberg, Rina F., & Braid, Louis D. (1988). Resolution for speech sounds: Basic sensitivity and context memory on vowel and consonant continua. *84*(4), 1262-1280.
- Miller, J. L. (1994). On the internal structure of phonetic categories: a progress report. *Cognition*, *50*(1-3), 271-285.
- Miller, J. L. (2001). Mapping from acoustic signal to phonetic category: Internal category structure, context effects and speeded categorisation. *Language and Cognitive Processes*, *16*(5/6), 683-690.
- Näätänen, R. (2001). The perception of speech sounds by the human brain as reflected by the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent (MMNm). *Psychophysiology*, *38*(1), 1-21.
- Näätänen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour, M., Huotilainen, M., Iivonen, A., et al. (1997). Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Nature*, *385*(6615), 432-434.
- Näätänen, R., Pakarinen, S., Rinne, T., & Takegata, R. (2004). The mismatch negativity (MMN): towards the optimal paradigm. *Clinical Neurophysiology*, *115*(1), 140-144.
- Näätänen, R., & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, *24*(4), 375-425.
- Pallier, C. (2002). Computing discriminability and bias with the R software. Retrieved from <http://www.pallier.org/ressources/aprime/aprime.pdf>.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128-2148.
- Pulvermüller, F., & Shtyrov, Y. (2006). Language outside the focus of attention: the mismatch negativity as a tool for studying higher cognitive processes. *Progress in Neurobiology*, *79*(1), 49-71.
- Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., & Ilmoniemi, R. (2005). Brain signatures of meaning access in action word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(6), 884-892.
- Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., Kujala, T., & Näätänen, R. (2004). Word-specific cortical activity as revealed by the mismatch negativity. *Psychophysiology*, *41*(1), 106-112.
- R Development Core Team. (2011). R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 2.12.2). Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Repp, B. H. (1984). Categorical perception: Issues, methods, findings. In N. J. Lass (Ed.), *Speech and language: Advances in basic research and practice* (Vol. 10, pp. 243-335). New York: Academic Press.
- Repp, B. H., & Crowder, R. G. (1990). Stimulus order effects in vowel discrimination. *Journal of the Acoustical Society of America*, *88*, 2080-2090.
- Repp, B. H., Healy, A. F., & Crowder, R. G. (1979). Categories and context in the perception of isolated steady-state vowels. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *5*, 129-145.
- Rosch, E. H. (1975). Cognitive reference points. *Cognitive Psychology*, *7*, 532-547.
- Sachs, R. M. (Artist). (1969). *Vowel identification and discrimination in isolation vs. word context*.
- Sawusch, J. R. (2008). Acoustic analysis and synthesis of speech. In D. Pisoni & R. Remez (Eds.), *The handbook of speech perception* (pp. 7-27). Malden MA: USA: Blackwell Publishing.
- Sharma, A., & Dorman, M. F. (1998). Exploration of the perceptual magnet effect using the mismatch negativity auditory evoked potential. *Journal of the Acoustic Society of America*, *104*(1), 511-517.

- Stanislaw, H., & Todorov, N. (1999). Calculation of signal detection theory measures. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31(1), 137-149.
- Stevens, K. N. (1972). The quantal nature of speech: Evidence from articulatory-acoustic data. In E. E. David, Jr. & P. B. Denes (Eds.), *Human communication: A unified view* (pp. 51-66). New York: McGraw-Hill.
- Stevens, K. N. (1989). On the quantal nature of speech. *Journal of Phonetics*, 17, 3-45.
- Studdert-Kennedy, M., Liberman, A. M., Harris, K. S., & Cooper, F. S. (1970). Motor theory of speech perception: A reply to Lane's critical review. *Psychological Review*, 77, 234-249.
- Sussman, E., & Lauckner-Morano, V. J. (1995). Further tests of the "perceptual magnet effect" in the perception of [i] : Identification and change/no-change discrimination. *Journal of the Acoustic Society of America*, 97(1), 539-552.
- Tomaschek, F., Truckenbrodt, H., & Hertrich, I. (2011, 17-21 août). *Processing german vowel quantity: categorical perception or perceptual magnet effect?* Paper presented at the ICPHS XVII, Hong Kong.
- Van Hesson, A. J., & Schouten, M. E. H. (1999). Categorical perception as a function of stimulus quality. *Phonetica*, 56, 56-72.

Résumé

Étant données les conséquences de l'effet d'aimant perceptif sur la théorie phonologique et l'absence de consensus pour déterminer s'il relève de processus de bas niveau liés aux aspects acoustiques de certaines voyelles ou de processus de haut niveau associés à l'acquisition du langage, nous avons mené deux études pour répliquer l'effet d'aimant perceptif avec des voyelles du Français, quantiques (/i/) et non quantiques (/e/). La première étude comportait deux expériences comportementales (identification et discrimination) ; la deuxième consistait en une expérience en potentiels évoqués avec un paradigme *oddball*. Les résultats de ces études sont nuancés du fait d'un biais lié au choix des stimuli utilisés. Néanmoins, les résultats de l'étude comportementale amènent à questionner la théorie du développement perceptif de la parole élaborée par Kuhl (1994) du point de vue du caractère systématique de l'effet d'aimant perceptif et laissent envisager une interprétation quantique (acoustique) de cet effet.

Mots-clés : Effet d'aimant perceptif, prototype, voyelles quantiques, discrimination, EEG, potentiels évoqués, MMN.