

UNIVERSITE LUMIERE LYON 2

TEST DE L'HYPOTHÈSE DE LA PHONÉMICITÉ
GRADIENNE EN ANGLAIS D'ÉCOSSE : ÉTUDE EN
ÉLECTROENCÉPHALOGRAPHIE

MÉMOIRE DE PREMIÈRE ANNÉE DE MASTER
SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

MENTION : PSYCHOLOGIE

SPÉCIALITÉ : PSYCHOLOGIE COGNITIVE ET
NEUROPSYCHOLOGIE

responsables de la formation:

Professeur J.-C. BOUGEANT

Professeur R. VERSACE

présenté par:

Marie GARNIER et Jennifer KRZONOWSKI

réalisé sous la direction de:

Emmanuel FERRAGNE et Véronique BOULENGER

au :

Laboratoire Dynamique du Langage UMR 5596

CNRS, Université Lyon II

Juin 2011

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons remercier Emmanuel FERRAGNE et Véronique BOULENGER de nous avoir encadrées dans la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour leur soutien et leur disponibilité tout au long de ce projet. Nous remercions également tous ceux qui sont intervenus de près ou de loin dans cette étude, notamment les personnes qui ont accepté de participer à notre expérience et les membres du Laboratoire de Dynamique du Langage pour leur bienveillance.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	1
1 Contexte théorique	2
1.1 L'analyse phonologique	2
1.1.1 L'analyse classique.....	2
1.1.2 Limite de l'analyse classique : la phonémicité gradiente.....	3
1.1.3 Étude de cas : les contrastes dérivés en anglais d'Écosse	4
1.2 Électroencéphalographie (EEG)	6
1.2.1 Potentiels évoqués et langage.....	6
1.2.2 Mismatch Negativity et perception de la parole.....	7
1.2.3 P300 et perception de la parole	10
1.3 Problématique et hypothèse théorique	12
2 Expérience.....	16
2.1 Méthode.....	16
2.1.1 Participants	16
2.1.2 Matériel	16
2.1.3 Équipement.....	17
2.1.4 Procédure.....	18
2.1.5 Traitement des données	19
2.2 Hypothèses opérationnelles	19
2.2.1 MMN	20
2.2.2 P300.....	21
2.3 Résultats	21
2.3.1 Latence et amplitude de la MMN	22
2.3.2 Latence et amplitude de la P300.....	23
3 Discussion	26
4 Conclusion et perspectives de recherche	31
Références	32
Annexe.....	36

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Les effets de la déviance sur la MMN sur les électrodes Cz et Pz (Image tirée de (Näätänen & Picton, 1987)).	8
Figure 2 - Représentation schématique du modèle de la P300 de mise à jour du contexte (Image tirée de (Polich, 2007)).	11
Figure 3 – 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).	18
Figure 4 – Tracé moyen de la différence entre les réponses aux stimuli déviants et aux stimuli standards chez les Écossais (à gauche) et les Français (à droite) en fonction de la nature de la déviance acoustique (timbre: ligne continue; durée: ligne pointillée) sur l'électrode Cz. Le temps 0 correspond au début de la déviance entre les paires de stimuli.	21
Figure 5 – Latence de la MMN (ms) moyennée sur tous les sujets en fonction de la nature de la déviance acoustique sur l'électrode Cz. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.	22
Figure 6 - Amplitude maximale de la MMN (μV) moyennée sur tous les sujets en fonction de la nature de la déviance acoustique sur l'électrode Cz. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.	23
Figure 7 - Latence de la P300 (ms) moyennée sur tous les sujets en fonction de la nature de la déviance acoustique sur l'électrode Cz. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.	24
Figure 8 - Amplitude maximale de la P300 (μV) moyennée sur tous les sujets en fonction de la nature de la déviance acoustique sur l'électrode Cz. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.	24
Figure 9 - Amplitude maximale de la MMN (μV) moyennée sur tous les sujets sur les électrodes Cz (à gauche) et Fz (à droite) en fonction de la nature de la déviance acoustique et de la langue du sujet. La différence intergroupe s'est révélée tendancielle en Cz.	28
Figure 10 - Amplitude maximale de la P300 (μV) moyennée sur tous les sujets sur les électrodes Cz (à gauche) et Fz (à droite) en fonction de la nature de la déviance acoustique et de la langue du sujet.	28
Figure 11 - Représentation schématique de la différence acoustique de longueur entre la prononciation de <i>sighed</i> (en gris) et <i>side</i> (en noir) chez un sujet allongeant la forme suffixée (01-ECO à gauche) et chez un sujet ne produisant pas cet allongement (07-ECO à droite) pour le premier (ligne discontinue) et le deuxième (ligne continue) formants vocaliques.	29
Tableau 1 - Type de traitement effectué en fonction de la nature des stimuli et de la langue des sujets.	14
Tableau 2 – Organisation de l'expérience en quatre blocs.	17

Introduction

Le cloisonnement des disciplines scientifiques, qui s'est développé depuis le 19^e siècle, tend aujourd'hui à céder sa place à l'interdisciplinarité. Ceci est particulièrement vrai dans les domaines qui touchent à une meilleure compréhension de nos facultés cognitives. Cette interdisciplinarité permet de s'extraire des contraintes de l'hyperspécialisation disciplinaire et d'apprécier différemment les questions laissées sans réponse (Morin, 1994). Conformément à cette démarche, notre étude propose d'apporter l'éclairage des neurosciences à une question de linguistique non résolue jusqu'ici. Notre ancrage aux confluences de ces deux disciplines va nous permettre d'aborder d'un œil différent le problème du statut cognitif de certains contrastes phonologiques.

En phonologie classique, deux sons de la langue sont considérés soit comme deux phonèmes, soit comme deux allophones (i.e., variantes d'un même phonème), à l'exclusion de toute autre option. Certains auteurs rompent cependant avec cette binarité en illustrant leur propos avec l'exemple des contrastes dérivés en anglais d'Écosse, qui ne peuvent être considérés ni comme allophoniques (car trop contrastifs), ni comme phonémiques (car prédictibles à partir de la structure morphémique) (Ferragne, Afonso-Santiago, & Pellegrino, 2010; Harris, 1990, 1994; Scobbie & Stuart-Smith, 2008). Ces mêmes auteurs posent l'hypothèse qu'il existerait un statut intermédiaire entre allophonie et phonémicité. Dans une étude acoustique, Ferragne et collaborateurs (Ferragne, et al., 2010) proposent une ébauche de réponse quant au statut potentiellement intermédiaire de ces contrastes. Notre objectif consiste à tester cette Hypothèse de la Phonémicité Gradiente à travers l'examen des corrélats électroencéphalographiques de la sensibilité à ces contrastes.

1 Contexte théorique

1.1 L'analyse phonologique

1.1.1 L'analyse classique

En phonologie, on utilise le concept de « phonème » pour décrire « la plus petite unité de la parole dont la moindre modification entraîne un changement de sens d'un mot ; [c'est] un ensemble de sons fonctionnellement équivalents » (Gineste & Le Ny, 2002). Cela permet un découpage des sons en lien avec une représentation en mémoire qui se construit avec l'expérience tout au long de la vie du sujet.

Pour différencier ces divers phonèmes, les linguistes utilisent le plus souvent la méthode des paires minimales (ou test de commutation), qui consiste en l'appariement de deux mots différant par un seul phonème (Carvalho, Nguyen, & Wauquier-Gravelines, 2010), par exemple *chapeau* – transcrit en phonétique /ʃapo/ – et *château* – prononcé /ʃato/ – permettent de mettre en évidence les phonèmes /p/ et /t/. L'existence fortuite de ces paires établit le statut de phonème ; en revanche, l'absence d'une telle paire pour un contraste potentiel ne signifie pas que ce dernier n'est pas phonémique. Par exemple, les sons /ŋ/ et /h/ sont considérés comme des phonèmes en anglais alors même qu'aucune paire minimale ne peut les distinguer. En effet, ils sont en distribution complémentaire ; le son /ŋ/ étant toujours situé en position de coda dans la syllabe quand le son /h/ n'apparaît qu'en position d'attaque.

La méthode des paires minimales s'appuie sur le principe phonologique selon lequel un phonème est un son qui ne peut pas être prédit par son environnement phonologique. En effet, les paires minimales sont composées de deux mots ne se différenciant que par un seul phonème. Ce dernier jouit donc d'un statut contrastif ; il correspond à une catégorie à part entière dans les représentations mnésiques des sons de la langue.

Ainsi, si un son peut être déduit de son entourage phonologique, ce n'est pas un phonème, mais une variante contextuelle : un allophone. Par exemple, le [k] du mot *cou* et le [c] du mot *qui* sont des allophones d'un même phonème /k/, puisque leur réalisation articulaire dépend du contexte phonologique : le [c] est un allophone palatal (i.e., le dos de la langue est en contact avec le palais rigide) devant une voyelle antérieure (qui demande à la langue d'être le plus avancée possible dans la bouche) et le [k] un allophone vélaire (le dos de la langue appuie contre le palais mou) dans tous les autres cas (O'Grady, 2004b).

L'analyse traditionnelle classe donc les sons de la langue selon une logique binaire : soit la comparaison de deux sons révèle une opposition phonémique (donnant donc lieu à deux catégories de sons, à deux phonèmes distincts), soit la différence entre eux n'est qu'allophonique (les sons appartiennent à une même catégorie et ne donnent pas lieu à un contraste au sens linguistique du terme).

1.1.2 Limite de l'analyse classique : la phonémicité gradiente

Ce principe binaire de classification des sons de la langue est très strict : deux sons peuvent soit former un contraste phonémique, soit n'être que des allophones d'un même phonème. Il n'existe pas d'intermédiaire entre ces deux catégories pour le plus grand nombre de linguistes.

Certaines études (Harris, 1990, 1994; Scobbie & Stuart-Smith, 2008) ont pourtant mis en lumière des situations pouvant être considérées comme intermédiaires puisque certains sons attestés dans les langues du monde ne peuvent être considérés ni comme des phonèmes, ni comme des allophones.

Premièrement, le fait que la distinction entre phonèmes et allophones se fasse en fonction de la prédictibilité (ou non) d'un son à partir de son environnement phonologique ne rend pas compte des cas où la distinction entre les sons est établie autrement. La discrimination entre deux sons peut, par exemple, être conditionnée par le contexte morphologique. La morphologie est l'analyse de la structure des mots, des règles qui la sous-tendent. Un mot se compose de morphèmes qui sont les plus petites unités portant soit des informations fonctionnelles (e.g., #*d*^l en anglais qui nous informe que le mot est un verbe au passé), soit des informations sémantiques (*brew* qui signifie brasser) (O'Grady, 2004a). Or, quand les sons diffèrent sur la base de la morphologie, des contrastes apparaissent entre certaines voyelles. Ces contrastes varient d'un dialecte anglais à l'autre. Ainsi, Harris (Harris, 1994) répertorie plusieurs exemples de divers dialectes anglais qui suivent des règles qui leur sont spécifiques en ce qui concerne le contraste des voyelles. Toutes ces variantes de contrastes seraient classiquement considérées comme marginales, puisqu'elles correspondent à des sons très proches, qui ne se distinguent que par le contexte morphologique. Elles sont donc considérées comme des allophones d'un même phonème malgré le fait qu'elles soient plus contrastives que d'autres. C'est ce que montrent, par exemple, Scobbie et Stuart-Smith (Scobbie & Stuart-Smith, 2008) en affirmant que certaines voyelles en anglais d'Écosse

¹ Le # est le symbole linguistique matérialisant la présence d'une frontière morphémique.

présentent une différence phonémique, contrastive, bien que prédictible par le morphème du passé (comme l'illustrent les paires *crude* et *crewed* ou encore *side* et *sighed*).

Secondement, un autre point, qui renforce la nécessité de repenser la classification de ces contrastes, pose question. Ces sons ont un rendement faible : ils donnent lieu à un faible nombre de paires minimales. Ce rendement faible n'implique pas qu'ils soient des allophones pour autant ; des contrastes entre deux phonèmes ont été avérés alors même qu'il n'existe pas ou peu de paires minimales pour les distinguer (e.g., /ŋ/ et /h/ en anglais, cf. 1.1.1). Cet argument permet d'appuyer la nécessité d'un statut quasi-phonémique.

Pour résoudre le problème du statut linguistique de ces contrastes, Harris (Harris, 1990) ajoute à la théorie phonologique classique une catégorie représentationnelle intermédiaire : le niveau quasi-phonémique. Les contrastes qui ne seraient ni des allophones car trop contrastifs pour être considérés comme tels, ni des phonèmes car prédictibles, seraient donc considérés comme des quasi-phonèmes.

Cet ajout dans la théorie classique des représentations des sons des langues permettrait alors de penser la phonémicité comme un phénomène gradient. Cela remettrait donc en question toute la théorie linguistique classique, qui a tendance à considérer ces quasi-phonèmes comme des allophones à défaut d'une meilleure catégorie alors même que le statut particulier de ces sons est reconnu par différents linguistes (Harris, 1990, 1994; Scobbie & Stuart-Smith, 2008).

1.1.3 Étude de cas : les contrastes dérivés en anglais d'Écosse

Harris (Harris, 1990) rend compte de cette difficulté de classification en utilisant notamment l'exemple de contrastes qu'il va appeler « dérivés » pour rappeler le fait que ces contrastes s'appuient sur la dérivation morphologique (i.e., l'ajout d'un suffixe ou d'un préfixe qui modifie le sens ou la catégorie grammaticale (O'Grady, 2004a)).

La durée, dans de nombreux accents d'Écosse, ne peut pas induire un contraste en analyse linguistique classique, puisqu'elle est prédictible, notamment à partir de la complexité morphologique. Pourtant l'allongement de la voyelle en anglais d'Écosse selon le contexte morphologique donne à ces voyelles un statut particulier qui n'existe pas dans les autres dialectes de la même langue (mis à part l'anglais d'Ulster, en Irlande du nord (Wells, 1982)). Cet allongement qui veut que certaines voyelles soient longues ou courtes selon le contexte, qu'elles soient monophthongues (comme /i/) ou diphtongues (comme /ai/) a fait l'objet d'une règle : la Règle d'Aitken ou Règles de la Longueur de la Voyelle en anglais

d'Écosse (SVLR) (Harris, 1994). D'après cette loi, les voyelles sont longues (mis à part les voyelles *i* et *ʌ*, qui sont toujours courtes) devant :

- *r*, *v*, *ð*, *z*, *ʒ* (elles sont courtes devant toute autre consonne).
- une autre voyelle.
- la frontière d'un morphème.

Ce qu'il est important de noter, d'après Harris (Harris, 1990), c'est que la longueur est conservée devant la frontière d'un morphème, et ce même si le morphème suivant du mot commence par une consonne autre que *r*, *v*, *ð*, *z*, *ʒ*, alors que celle-ci demanderait à la voyelle précédente d'être courte d'après la loi d'Aitken. Cette règle montre la prédictibilité du son si l'on se fie à des règles issues de la morphologie.

Il prend alors comme exemple des paires minimales telles que *brood* [bɹʊd] et *brewed* [bɹʊ:d] qui diffèrent par leur morphologie. Le mot *brood* est composé d'un seul morphème, il est dit « morphologiquement simple » ou encore monomorphémique ; le /d/ est ici tautomorphémique, c'est-à-dire qu'il appartient au même morphème que les autres sons du mot. Le /d/ demande alors à la voyelle précédente /ʊ/ d'être courte. Le mot *brewed* est quant à lui composé de plusieurs morphèmes ; c'est un mot morphologiquement complexe ; le /#d/ est dit hétéromorphémique puisqu'il n'appartient pas au même morphème que les autres sons du même mot. Il induit un allongement de cette voyelle. La différence entre un mot morphologiquement simple et un mot morphologiquement complexe va introduire un contraste de durée en anglais d'Écosse. *Brood* est alors plus court que *brewed* de 83 ms en moyenne (Ferragne, Afonso-Santiago, & Pellegrino, 2010) alors que tous les autres sons entourant la voyelle sont les mêmes.

Scobbie et collègues (Scobbie, Hewlett, & Turk, 1999) ont étudié plus précisément les différentes voyelles de l'anglais d'Écosse afin de repérer celles qui s'allongent suite à l'ajout d'un morphème, en s'appuyant sur diverses analyses acoustiques. Ils ont ainsi repéré trois voyelles qui s'allongent particulièrement avec la présence du morphème du passé : les deux monophthongues /i/ et /ʊ/ et la diphtongue /ai/. Ils remarquent que la qualité de la diphtongue /ai/ paraît cependant changer en fonction de la classe sociale et plus généralement du lieu de résidence en Écosse (ainsi le phénomène d'allongement des voyelles est plus prononcé à Glasgow qu'à Édimbourg).

Une analyse de la durée et du timbre des trois voyelles repérées par Scobbie et al. (Scobbie, Hewlett, et al., 1999) a pu mettre en évidence le statut particulier de ces voyelles qui présentent un allongement de leur durée avec le suffixe du passé /#d/, ce qui n'est pas le

cas avec le /d/ tautomorphémique (Ferragne, et al., 2010). Cette dernière étude a pu mettre en évidence que le /ai/ changeait non seulement en durée mais aussi en timbre avec le morphème du passé chez des sujets de Glasgow.

Pour Harris (Harris, 1990), les contrastes dérivés ont un statut ambigu. En effet, ils ne sont pas considérés de la même façon selon le courant linguistique de référence. Les structuralistes les associent à des phonèmes puisqu'ils donnent lieu à des paires minimales. Au contraire, les générativistes les voient comme des allophones puisqu'ils sont prédictibles : ils font l'objet de règles prenant en compte la morphologie. Harris se place en dehors de ces deux courants de pensée en argumentant son choix par le fait que ces deux points de vue ne se situent pas au même niveau d'analyse (les générativistes situant leur propos à un niveau plus cognitif que les structuralistes). Il tente alors d'abandonner la binarité du statut de phonème en faisant l'hypothèse d'un niveau intermédiaire de représentation. Ce niveau intermédiaire, quasi-phonémique, n'ayant jamais fait l'objet de tests évaluant sa réalité cognitive, nous proposons dans ce travail une telle évaluation en utilisant la technique de l'électroencéphalographie.

1.2 Électroencéphalographie (EEG)

1.2.1 Potentiels évoqués et langage

Depuis plus de vingt ans, les techniques d'imagerie cérébrale fonctionnelle ont été de plus en plus utilisées pour étudier la production et la compréhension du langage. Beaucoup de ces techniques, comme la tomographie à émission de positons (TEP) ou l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), présentant une excellente résolution spatiale, ont permis de collecter des informations sur la localisation des régions cérébrales impliquées dans le langage. Néanmoins, ces techniques présentent une résolution temporelle faible (de l'ordre la seconde), c'est pourquoi il est primordial d'utiliser en complément des techniques comme l'électroencéphalographie (EEG) ou la magnétoencéphalographie (MEG), qui présentent une excellente résolution temporelle (de l'ordre de la milliseconde) et permettent de révéler le décours temporel précis des processus langagiers. L'une des méthodes les plus utilisées dans ce domaine est celle des potentiels évoqués (« Event-Related Potentials » ou ERPs) (Fabiani, Gratton, & Coles, 2007).

La méthode des potentiels évoqués en EEG permet de recueillir l'activité électrique spécifique du cerveau liée à un stimulus interne (e.g., prise de décision, préparation motrice) ou externe, sensoriel (e.g., stimulation auditive ou visuelle). Les potentiels évoqués sont (le

plus souvent) représentés par le biais de trois paramètres : l'amplitude de l'onde, sa latence (i.e., temps d'occurrence le plus précoce après le stimulus) et sa polarité. Les ondes sont généralement nommées en fonction de leur polarité, positive (P) ou négative (N), et de leur latence (Fonteneau, Frauenfelder, & Rizzi, 1998).

Dans l'étude du langage, les principales composantes étudiées en potentiels évoqués sont la N200 générée lors du traitement d'informations phonologiques, la N350 pour les traitements lexicaux, la N400 révélant des processus de traitement sémantique, la P600 et l'ELAN (Early Left Anterior Negativity) générées lors du traitement d'informations syntaxiques, la MMN et la P300 qui nous intéresseront dans notre étude, et dont nous détaillerons les caractéristiques dans ce qui suit (Fonteneau, et al., 1998; Pulvermüller & Shtyrov, 2006).

1.2.2 Mismatch Negativity et perception de la parole

La « Mismatch Negativity » (MMN) ou « négativité de discordance » est une composante électroencéphalographique fronto-centrale négative reflétant la détection de tout changement discriminable dans une séquence de stimuli auditifs répétitifs (Pulvermüller & Shtyrov, 2006). Elle est le plus souvent étudiée avec le paradigme *oddball*, qui consiste en la présentation de stimuli déviants rares parmi des stimuli standards répétés/fréquents. La MMN est mise en évidence en calculant la différence entre la réponse évoquée par le stimulus déviant et celle évoquée par le stimulus standard. C'est une réponse automatique et indépendante de l'attention (i.e., 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). Le son répétitif (standard) forme une trace mnésique dans le système auditif, et si un nouveau son (déviant) ne correspond pas à cette trace, alors la MMN apparaît environ 50 ms après le début du stimulus déviant et présente généralement un pic à 100-250 ms (Näätänen & Picton, 1987). La MMN est le signe d'un processus perceptif de comparaison automatique du stimulus rare/déviant et d'une représentation neuronale en mémoire formée par le standard. La localisation et la latence de la MMN varient en fonction des caractéristiques des stimuli auditifs (Pulvermüller & Shtyrov, 2006). L'amplitude de la MMN diminue avec l'augmentation de la probabilité d'apparition des stimuli déviants et avec la diminution des différences entre stimuli standards et déviants (cf. *Figure 1*) (Näätänen & Picton, 1987). 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). Lorsque des différences au niveau phonologique sont perçues, la MMN se manifeste avec une latence d'environ 100 à 200 ms après le début du son déviant et est générée par une source située dans le cortex temporal supérieur (Näätänen et al., 1997). Pulvermüller et Shtyrov (Pulvermüller & 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.

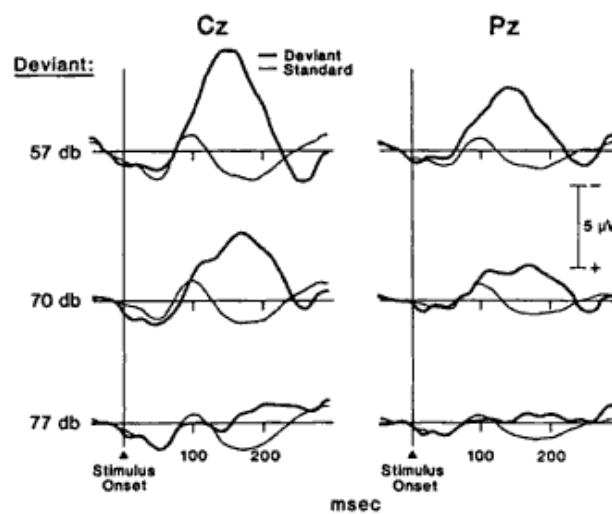


Figure 1 - Les effets de la déviance sur la MMN sur les électrodes Cz et Pz (Image tirée de (Näätänen & Picton, 1987)).

Un stimulus standard (80 dB) était présenté dans 90% des cas et un stimulus déviant (57, 70 et 77 dB dans des blocs différents) dans 10% des cas. Les potentiels évoqués liés aux stimuli standards sont représentés par le trait fin, ceux liés aux stimuli déviants par le trait épais. L'amplitude de la MMN augmente avec la différence acoustique (intensité) entre les standards et les déviants.

Aaltonen et collègues (Aaltonen, Niemi, Nyrke, & Tuhkanen, 1987) ont comparé les MMN générées dans un paradigme *oddball* lors de la présentation de paires de stimuli composées soit des voyelles aux extrémités du continuum finnois /i/-/y/ (i.e., deux phonèmes), soit d'une de ces voyelles et d'une voyelle à mi-chemin entre les deux pôles du continuum. Ils ont constaté que la MMN présentait une amplitude plus grande et une latence plus courte dans la condition phonémique (i.e., voyelles aux extrémités du continuum) que dans la condition où la paire de stimuli était formée d'une des deux voyelles extrêmes du continuum et d'une voyelle située à mi-chemin des extrémités du continuum. Ces résultats montrent que pour les sons de parole, la MMN présente une amplitude plus grande et une latence plus courte lorsque le déviant n'appartient pas à la même catégorie phonémique que le standard. Näätänen et collègues (Näätänen, et al., 1997) ont comparé lors d'une étude ERP

les réponses MMN d'auditeurs finlandais à l'écoute de la voyelle finnoise /*ö*/ ou de la voyelle estonienne inconnue /*õ*/ dans une séquence de stimuli standards constitués par la voyelle finnoise /*e*/. Ils ont pu montrer que l'amplitude de la MMN était plus grande lorsque la voyelle finnoise /*ö*/ était présentée en tant que stimulus déviant par rapport à la condition dans laquelle le stimulus déviant était la voyelle estonienne /*õ*/, et ce malgré le fait que la distance acoustique entre les voyelles /*õ*/ et /*e*/ soit plus grande que celle entre les voyelles /*ö*/ et /*e*/. Ces résultats tiennent au fait que la voyelle /*ö*/ appartient à la langue maternelle des sujets contrairement à la voyelle /*õ*/. De la même manière, Dehaene-Lambertz (Dehaene-Lambertz, 1997) a étudié des contrastes consonantiques à l'aide d'un paradigme *oddball*. Elle a inséré au sein d'une série répétée de la même syllabe, des déviants appartenant soit à la même catégorie phonémique que les standards (e.g., /*ba*/1- /*ba*/1- /*ba*/1-/**/ba/5**), soit à une catégorie différente. Pour les déviants appartenant à une catégorie phonémique différente, elle a étudié deux frontières phonémiques, l'une présente en Français (e.g., /*da*/-/*da*/-/*da*/-/**/ba/**) et l'autre non (e.g., /*da*/-/*da*/-/*da*/-/**/ga/**, un contraste présent en Hindi). Chez les auditeurs français, une MMN était générée seulement pour le contraste inter-catégoriel pertinent dans la langue maternelle (i.e., /*da*/-/*ba*/). La réponse électrophysiologique est donc plus importante lorsque la différence entre le stimulus déviant et le standard correspond à un contraste phonémique présent dans la langue maternelle du sujet.

La durée des voyelles simples joue un rôle important dans la distinction des phonèmes en finnois par rapport à l'allemand. Kirmse et collaborateurs (Kirmse et al., 2008) ont mesuré la MMN chez des locuteurs finlandais et allemands pour les changements de durée des voyelles dans le pseudo-mot *sasa* (i.e., allongement ou raccourcissement de la voyelle de la première ou de la deuxième syllabe). Ils ont également mesuré les MMN induites par des changements (i.e., durée et fréquence) pour des éléments non verbaux (tons). Les Finlandais présentaient des latences de MMN plus courtes que les Allemands pour les contrastes de durée, à la fois pour les pseudo-mots et les tons. Cela suggère un traitement plus rapide et plus automatisé des contrastes de durée, et donc une sensibilité générale plus élevée à ces contrastes chez les Finlandais. Les deux groupes ne montraient pas de différence de latence pour les contrastes de fréquence pour les tons. Cette étude montre que les Finlandais présenteraient un meilleur traitement des contrastes de durée (vocaliques mais aussi non verbaux) par rapport aux Allemands, ce qui tiendrait probablement au fait qu'ils sont exposés dans leur langue maternelle à ce type de contrastes. La MMN est donc sensible aux changements dans la durée des stimuli quand ils sont pertinents dans la langue du sujet

(Kirmse, et al., 2008; Nenonen, Shestakova, Huotilainen, & Näätänen, 2003; Ylinen, Shestakova, Huotilainen, Alku, & Näätänen, 2006).

Les résultats de ces études montrent que le processus de perception de la parole est influencé par l'inventaire phonémique d'une langue particulière. Ils mettent en avant l'idée d'une étape précoce de catégorisation phonémique durant laquelle tous les éléments phonétiques non pertinents sont écartés afin de ne maintenir que les contrastes linguistiques pertinents dans la langue de l'auditeur. Ainsi deux sons de parole sont difficiles à distinguer s'ils n'appartiennent pas à des catégories phonémiques différentes dans la langue de l'auditeur. Dufour et collaborateurs (Dufour, Nguyen, & Frauenfelder, 2010) ont montré que des auditeurs français du sud pour qui le contraste /e/-/ɛ/ n'existe pas en position finale de mots sont capables d'apprendre des paires minimales de nouveaux mots basées sur ce contraste. Cependant, ils ne sont pas capables d'utiliser l'apprentissage de ce contraste pour discriminer des mots déjà présents dans leur lexique. Il faut aussi noter que l'apprentissage d'une langue développe des représentations corticales en mémoire du système de phonèmes de cette langue permettant ainsi leur catégorisation (Winkler et al., 1999).

1.2.3 P300 et perception de la parole

La P300 (ou P3) est une onde cérébrale positive souvent consécutive à la MMN. Elle présente une distribution centro-pariétale s'étendant sur les régions frontales et un pic autour de 300 ms pour les stimuli auditifs (Polich & Criado, 2006).

Cette onde est générée lors de la mise à jour du contexte avec les représentations en mémoire et de la mise en place des mécanismes attentionnels (cf. *Figure 2*). Le stimulus entre dans le système de traitement et une comparaison en mémoire est engagée pour déterminer si le stimulus est différent ou non de son contexte (e.g., dans le cas d'un paradigme *oddball*). Si le stimulus entrant est identique aux stimuli précédents alors la représentation mnésique de l'environnement est maintenue et des potentiels évoqués sensoriels (N100, P200, N200) sont générés. Lorsqu'un stimulus déviant est détecté dans une séquence, des mécanismes attentionnels sont alors engagés, la représentation mnésique du contexte dans lequel les stimuli sont présentés est modifiée ou mise à jour et une P300 est générée en plus des potentiels évoqués sensoriels (Polich, 2007).

CONTEXT UPDATING THEORY OF P300

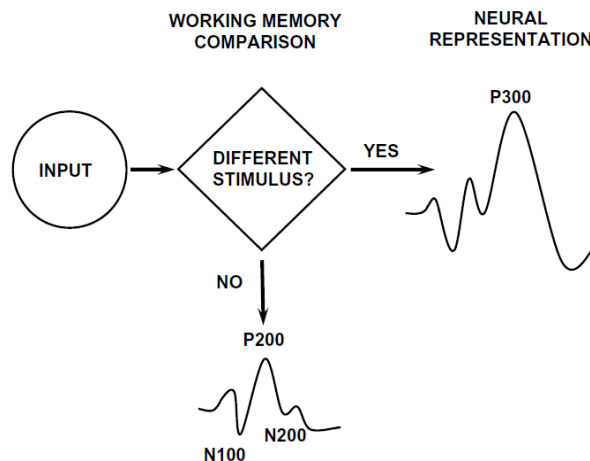


Figure 2 - Représentation schématique du modèle de la P300 de mise à jour du contexte (Image tirée de (Polich, 2007)).

La P300 peut être décomposée en deux ondes qui diffèrent par leur latence, leur topographie sur le scalp et leurs corrélats cognitifs. La plus précoce, la P3a, a une distribution antérieure (fronto-centrale) et est provoquée par des variations peu fréquentes et non prédictibles dans une séquence de stimuli, que le sujet y soit attentif ou non. Light et collègues (Light, Swerdlow, & Braff, 2007) ont montré l'existence d'une MMN et d'une P3a dans un paradigme *oddball* classique dans lequel les sujets ne devaient pas prêter attention aux stimuli et regardaient un film. La P3a est générée par des événements significatifs soit parce qu'ils présentent une information nouvelle telle que des changements ou violations de régularités, soit parce qu'ils sont reconnus et associés à des éléments stockés en mémoire à long terme du fait de leur valence sociale ou émotionnelle (Horvath, Winkler, & Bendixen, 2008). La P3a reflète une réorientation de l'attention vers le stimulus déviant quand celui-ci est difficile à catégoriser et demande une attention focalisée (Polich, 2007). L'autre composante, plus tardive et avec une distribution plus postérieure (centro-pariétale), est la P3b, qui n'est générée que lorsque le sujet est attentif aux stimuli. Elle est notamment observée dans les paradigmes *oddball à trois stimuli* incluant des stimuli déviants, standards (Squires, Squires, & Hillyard, 1975) et cibles (Polich, 2007) auxquels les sujets doivent prêter attention. Selon Donchin (Donchin, 1981), l'amplitude de la P300 serait un indice des activités cérébrales sous-tendant la mise à jour des représentations mentales du contexte dans lequel se trouve le stimulus. L'amplitude de la P300 augmente avec l'augmentation de la différence entre les stimuli rares et fréquents (Jaramillo, Paavilainen, & Näätänen, 2000) et elle est généralement plus faible, avec une latence plus grande, dans les tâches passives que

dans les tâches actives (Polich, 2007). La latence de la P300 serait une mesure de la vitesse de classification qui est proportionnelle au temps nécessaire à la détection et à l'évaluation d'un stimulus cible. La latence du pic est en outre associée à l'efficacité cognitive. Celle-ci serait affectée par des facteurs cognitifs tels que les informations contenues dans les stimuli, la prédictibilité de la séquence ou encore la pertinence et la difficulté de la tâche (Polich & Criado, 2006).

Dans l'étude d'Aaltonen et collaborateurs (Aaltonen, et al., 1987), la P300 présente une latence plus courte pour le déviant /i/ du continuum /i-/y/ quels que soient les stimuli standards (i.e., extrémité /y/ du continuum ou voyelle située à mi-chemin de ce continuum). Les auteurs expliquent leurs résultats par le fait que le son /i/ est plus saillant sur le plan auditif que le son /y/ et donc, plus facile à catégoriser. Frenck-Mestre et collaborateurs (Frenck-Mestre, Meunier, & Espesser, 2005) ont étudié les réponses électroencéphalographiques de sujets monolingues français à l'écoute de voyelles d'anglais américain en fonction du contexte dans lequel elles étaient placées. Dans un paradigme *oddball à trois stimuli*, ils ont comparé les réponses des sujets lorsque le stimulus déviant était placé dans un contexte où la discrimination avec le stimulus standard était facile et lorsqu'elle était difficile (i.e., lorsque le contraste de voyelles étaient présent ou non dans la langue du sujet respectivement). Leurs résultats montrent qu'il n'y a pas de différence d'amplitude de la P300 entre les standards et les déviants dans la condition difficile alors que dans la condition facile, l'amplitude de la P300 pour les stimuli déviants est plus grande que pour les stimuli standards. Au niveau de la latence, ils notent une P300 plus tardive dans la condition difficile. Les schémas de réponses de sujets américains dans la condition difficile montrent une P300 précoce et de grande amplitude. Cette étude met en évidence le fait que la perception est fonction du contexte et de l'expérience linguistique du sujet.

1.3 Problématique et hypothèse théorique

L'analyse phonologique traditionnelle stipule que deux sons de la langue peuvent soit former un contraste phonémique, soit être des allophones d'un seul et même phonème, à l'exclusion de toute autre option. Cette linguistique traditionnelle ne permet pas d'analyser certains phénomènes phonologiques attestés dans les langues du monde. En effet, selon Harris (Harris, 1990), il existe en anglais d'Écosse des contrastes, les contrastes dérivés, qui présentent un allongement de la voyelle précédant le morphème du passé, et qui ne sont ni des allophones, car trop contrastifs, ni des phonèmes car prédictibles par le contexte

morphologique. Ces contrastes jouiraient donc d'un statut phonologique intermédiaire quasi-phonémique.

Des études en potentiels évoqués ont montré que la MMN est un bon corrélat cognitif de la détection de changements phonologiques dans une séquence de stimuli verbaux (Kujala, et al., 2007; Pulvermüller & Shtyrov, 2006). La P300, quant à elle, est un indicateur de la réorientation attentionnelle suite à la détection d'une variation dans les stimuli (Polich, 2007) mais aussi de la catégorisation de ces stimuli (Frenck-Mestre, et al., 2005). Ces deux ondes cérébrales présenteraient des caractéristiques différentes (i.e., amplitude et latence) en fonction de la nature des variations entre les stimuli (Frenck-Mestre, et al., 2005; Pulvermüller & Shtyrov, 2006), mais aussi en fonction de l'expérience phonologique du sujet (e.g., langue maternelle) (Dehaene-Lambertz, 1997; Frenck-Mestre, et al., 2005; Näätänen, et al., 1997).

Le but de notre étude était de savoir s'il existe effectivement en phonologie un degré intermédiaire entre le phonémique et le non phonémique. Il s'agissait de tester l'Hypothèse de la Phonémicité Gradiente selon laquelle il existe plusieurs degrés de phonémicité contrairement à ce que prédit l'analyse linguistique traditionnelle. Notre étude s'est basée sur cette hypothèse qui suppose que ces statuts linguistiques intermédiaires donneraient lieu à des corrélats cognitifs intermédiaires entre ceux observés pour des différences phonémiques et allophoniques typiques. Ainsi, nous avons comparé les réponses électroencéphalographiques induites par des contrastes présentant potentiellement ce statut linguistique intermédiaire, les contrastes dérivés en anglais d'Écosse, à celles générées par des allophones et des phonèmes. Nous avons supposé que la présentation de contrastes dérivés à des sujets écossais induirait des réponses intermédiaires en termes d'amplitude et de latence de la MMN et de la P300 par rapport à la présentation à des sujets écossais de stimuli présentant un contraste typiquement phonémique et par rapport à la présentation à des sujets français de stimuli présentant un contraste uniquement allophonique. Nous avons donc mis en place un paradigme *oddball* pour comparer les réponses électrophysiologiques (MMN et P300) de sujets écossais et français à des stimuli présentant des contrastes de durée (*brood/brewed*) et de timbre (*bit/bet*).

Nous avons supposé qu'il existerait des différences dans les traitements effectués en fonction de la nature des stimuli (i.e., stimuli présentant un contraste de durée ou de timbre) et de la langue du sujet (cf. *Tableau 1*) :

- Un traitement acoustique chez les sujets français en condition de déviance de durée. En effet, le contraste de durée n'étant pas pertinent dans la langue française, les stimuli ne devraient pas être contrastifs et seraient alors allophoniques.

- Un traitement phonémique chez les sujets écossais et français en condition de déviance de timbre. Les voyelles /i/ et /e/ constituent deux phonèmes dans la langue maternelle des Écossais. Pour les sujets français, si le /i/ et le /e/ d'anglais d'Écosse ne correspondent pas acoustiquement au /i/ et /e/ du français, on peut néanmoins penser qu'ils donnent lieu à un franchissement de frontière phonémique.

- Un traitement quasi-phonémique chez les sujets écossais en condition de déviance de durée puisque les voyelles /ʌ/ de la paire *brood/brewed* ne diffèrent que par leur durée et ne constituent pas des phonèmes distincts, l'allongement de la voyelle étant prédictible grâce à la dérivation morphologique ; les voyelles /ʌ/ devraient néanmoins être contrastives pour les sujets écossais, puisque ce couple de mots forme une paire minimale, mais à un moindre degré que les voyelles /i/ et /e/.

La présentation de la paire de mots *bit/bet* aux participants écossais constituait notre condition phonémique. La présentation de la paire de mots *brood/brewed* aux participants français constituait notre condition allophonique, et la présentation de cette même paire de mots aux participants écossais constituait notre condition quasi-phonémique.

Ainsi les schémas de réponses électroencéphalographiques attendus devraient différer selon la langue du sujet et la nature des stimuli, à savoir que plus le contraste entre les stimuli est fort pour le sujet, plus la réponse générée est forte et précoce.

Tableau 1 - Type de traitement effectué en fonction de la nature des stimuli et de la langue des sujets.

Langue	Type de traitement du contraste de durée (<i>brood/brewed</i>)	Type de traitement du contraste de timbre (<i>bit/bet</i>)
Anglais d'Écosse	Quasi-phonémique et acoustique (<i>condition quasi-phonémique</i>)	Phonémique et acoustique (<i>condition phonémique</i>)
Français	Acoustique (<i>condition allophonique</i>)	Phonémique et acoustique

Ainsi le plan expérimental de notre expérience est $S \times L_2 \times D_2$ (Abdi, Edelman, Valentin, & Dowling, 2009) où S représente le facteur aléatoire « Sujet » ; L le facteur fixe à mesures

indépendantes « Langue » à deux modalités : anglais d'Écosse versus français ; D le facteur fixe à mesures répétées « Nature de la déviance acoustique de la voyelle » à deux modalités : « Déviance de durée de la voyelle » vs. « Déviance de timbre de la voyelle ».

2 Expérience

2.1 Méthode

2.1.1 Participants

Sept locuteurs natifs d'Écosse, originaires de la région de Glasgow de préférence, vivant en France depuis septembre 2010 et 19 participants de langue maternelle française ont accepté de participer à notre expérience. Un participant français (09-FRA) a été retiré de nos analyses car son signal était trop bruité, et deux autres sujets, un français (13-FRA) et un écossais (02-ECO), ont été également retirés des analyses statistiques car ils présentaient des valeurs d'amplitude des potentiels évoqués extrêmes. Les sujets étaient âgés de 18 à 25 ans ($M = 20.5$; $SD = 2.08$), étaient droitiers (Test de latéralité d'Édimbourg : $M = 92.5$; $SD = 13.9$; (Oldfield, 1971)), sans trouble du langage et normo-entendants. Leur audition a été préalablement testée à l'aide d'une audiométrie tonale; seuls les sujets dont le seuil était égal ou inférieur à 20 dB SPL pour les fréquences 125, 250, 500, 750, 1000, 2000, 4000, 6000 et 8000 Hz ont participé à l'expérience. Les participants ont tous rempli un formulaire de consentement et ont été défrayés pour leur participation (10€/heure).

2.1.2 Matériel

Nos hypothèses nous ont amenés à comparer des contrastes de durée et de timbre. Nous avons utilisé les mots *brood*, *brewed*, *bit*, *bet*. La paire *bit/bet* constitue bien un contraste de timbre puisqu'il donne lieu à des paires minimales et que la différence entre les deux sons est portée par le timbre de la voyelle. À partir d'études sur la règle de l'allongement des voyelles en anglais d'Écosse, nous avons sélectionné la paire de mots susceptible d'être la plus représentative du contraste de durée (Scobbie, Hewlett, et al., 1999; Scobbie & Stuart-Smith, 2008). Les voyelles /ʌ/, /i/ et /ai/ seraient particulièrement allongées devant le morphème du passé. Il n'était pas pertinent d'utiliser comme matériel une paire de mots variant sur la diphtongue /ai/ pour la comparer à une paire contrastant sur le timbre car celle-ci présente à la fois un contraste de timbre et de durée quand elle précède le morphème du passé /#d/ (Scobbie, Hewlett, & Turk, 1999). Des analyses acoustiques du contraste dérivé des monophthongues /ʌ/ et /i/ ont pu mettre en évidence un effet du morphème du passé uniquement sur la voyelle /ʌ/ (Ferragne, et al., 2010). Nous avons donc choisi d'utiliser une paire de mots variant sur la longueur de la voyelle /ʌ/. Nous avons alors choisi la paire

brood/brewed puisqu'elle a été répertoriée dans l'étude citée ci-dessus, mais aussi dans celle de Scobbie et collègues (Scobbie, Hewlett, & Turk, 1999).

Les mots que nous avons utilisés étaient produits par un même locuteur écossais, issus d'enregistrements effectués à Glasgow pour une étude précédente (Ferragne, et al., 2010). La voyelle du mot *brewed* avait une durée de 175 ms. Le mot *brood* que nous avons utilisé a été obtenu par compression temporelle du mot *brewed*. L'obtention du mot *brood* par resynthèse garantissait qu'il n'y avait aucune différence de timbre entre les deux stimuli. L'amplitude de ces mots a été normalisée par le maximum, et l'enveloppe d'intensité a été lissée au début et à la fin de chaque stimulus afin de minimiser l'apparition de bruits parasites ('pops'). 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 6 afin de ne pas provoquer d'attente de la part du participant. L'intervalle entre chaque stimulus était fixe: 500 ms. L'expérience était organisée en quatre blocs (cf. Tableau 2). Chaque bloc comportait 522 stimuli standards et 120 stimuli déviants. L'ordre des blocs était contrebalancé entre les sujets d'un même groupe (Écossais vs. Français).

Tableau 2 – Organisation de l'expérience en quatre blocs.

Numéro du bloc	Standards (de 3 à 6)	Déviants
1	Brewed	Brood
2	Brood	Brewed
3	Bit	Bet
4	Bet	Bit

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 documentaire sans son, ni sous-titre. 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 VEOG², 2 HEOG³ (électro-oculogrammes verticaux et horizontaux permettant d'enregistrer les clignements et mouvements des yeux), une sur le

² Vertical Electro-OculoGraphy : électro oculogrammes verticaux

³ Horizontal Electro-OculoGraphy : électro oculogrammes horizontaux

nez, une sur la joue et deux sur les mastoïdes droit et gauche (cf. *Figure 3*). Les sujets portaient également un casque audio stéréo (Sennheiser HD-250 Linear 2), placé sur les 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 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 Presentation⁴ a servi à programmer l'expérience ; la présentation des stimuli étaient synchronisée avec le système d'acquisition Biosemi⁵.

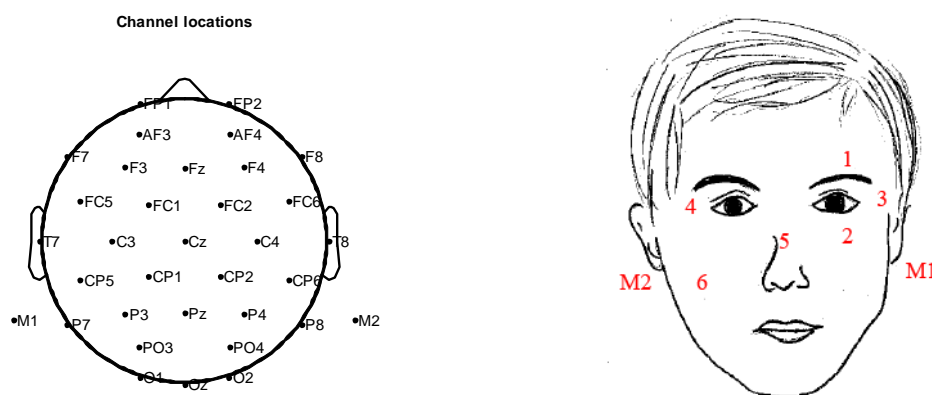


Figure 3 – Localisation des électrodes sur le scalp (à gauche) et des électrodes externes VEOG (n°1 et 2), HEOG (n°3 et 4), nez (n°5) (à droite) avec les deux électrodes de référence sur les mastoïdes (M1 et M2).

2.1.4 Procédure

L'expérimentation durait 1h30 au total. Dans un premier temps, les participants signaient un formulaire de consentement accompagné d'une notice expliquant le fonctionnement de l'EEG. Ils passaient ensuite un extrait du test d'Édimbourg nous assurant qu'ils étaient tous droitiers. Un audiogramme permettait de tester l'audition des participants. Les participants écossais étaient enregistrés lors de la lecture d'un texte en anglais présentant des contrastes dérivés (cf. *Annexe 1*) pour vérifier qu'ils produisaient la particularité phonologique qui nous intéresse. Durant les 40 minutes d'acquisition EEG, tous les participants entendaient les stimuli par le biais d'un casque audio à un volume d'écoute confortable et regardaient un documentaire de leur choix, sans son ni sous-titre, avec pour consigne de ne pas prêter attention aux stimuli auditifs. À la fin de l'enregistrement, nous expliquions le but de notre étude aux participants et répondions à leurs questions.

⁴ Neurobehavioral systems, 2003-2009

⁵ Version 5.36, 6 février 2006

2.1.5 Traitement des données

Nous avons utilisé le logiciel Matlab⁶ avec la toolbox Eeglab⁷ 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 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 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 $\pm 150 \mu\text{V}$. Les signaux ont ensuite été moyennés en fonction de la nature de la déviance (durée vs. timbre) pour chaque sujet (Écossais et Français). Pour chaque condition (i.e., durée et timbre), nous avons dans un premier temps moyenné les réponses aux stimuli standards des deux blocs correspondants (i.e., standard *bit*/standard *bet* des blocs 3 et 4 et standard *brood*/standard *brewed* des blocs 1 et 2) et les réponses aux stimuli déviants (i.e., déviant *bit*/déviant *bet* des blocs 3 et 4 et déviant *brood*/déviant *brewed* des blocs 1 et 2). Nous avons ensuite soustrait les stimuli standards aux stimuli déviants afin d'extraire les réponses MMN et P300. En accord avec la littérature (Frenck-Mestre, et al., 2005; Näätänen, 2001; Näätänen, Pakarinen, Rinne, & Takegata, 2004; Polich, 2007; Pulvermüller & Shtyrov, 2006) et à partir de l'observation des tracés des grandes moyennes (sur tous les sujets) sur la fenêtre [-100 ; 800 ms], nous avons identifié deux fenêtres temporelles dans lesquelles apparaissaient nos deux ondes d'intérêt. Nous avons ainsi effectué nos analyses sur la fenêtre [150 ; 265 ms] pour la MMN et sur la fenêtre [265 ; 420 ms] pour la P300. Ces deux fenêtres temporelles étaient calculées à partir du début de la déviance entre les paires de stimuli. Pour la paire *brood/brewed*, les stimuli déviaient acoustiquement 135 ms après leur début et les stimuli de la paire *bit/bet* déviaient acoustiquement 35 ms après leur début. Nous avons analysé la MMN et la P300 sur les électrodes Fz et Cz (région fronto-centrale) sur la base d'études antérieures (Polich, 2007; Pulvermüller, Shtyrov, & Ilmoniemi, 2005; Pulvermüller, Shtyrov, Kujala, & Näätänen, 2004).

2.2 Hypothèses opérationnelles

Nous voulions tester l'Hypothèse de la Phonémicité Gradiente, c'est-à-dire l'hypothèse qu'il existe un intermédiaire entre l'allophonie (non catégoriel) et la phonémicité (catégoriel)

⁶ Version 7.9.0.529, (R2009b)

⁷ Version 9.0.4.4b

se traduisant par des corrélats cognitifs intermédiaires. L'objectif était donc de comparer les réponses cérébrales de sujets exposés à des paires de mots allophoniques, phonémiques et quasi-phonémiques. Pour cela, nous avons comparé les réponses électroencéphalographiques de participants de langue anglaise d'Écosse et française à des stimuli présentant des contrastes de timbre (condition phonémique pour les sujets écossais et les sujets français) et de durée (condition allophonique pour les Français et quasi-phonémique pour les Écossais) dans un paradigme *oddball*. Nous avons émis l'hypothèse générale que les Écossais et les Français présenteraient des réponses différentes dans les deux conditions de contraste (durée et timbre). En effet, des études sur la MMN et la P300 ont montré des réponses plus précoces et plus fortes lorsque le matériel traité appartenait au répertoire phonologique du sujet (Dehaene-Lambertz, 1997; Näätänen, et al., 1997). Nous avons également posé l'hypothèse que les réponses des participants devraient différer en fonction de la nature de la déviance de la voyelle, le contraste de timbre étant potentiellement plus contrastif que le contraste de durée. Il a été montré que des éléments plus faciles à discriminer génèrent des MMN et P300 d'amplitude plus forte et de latence plus courte (Aaltonen, et al., 1987; Frenck-Mestre, et al., 2005). Nos hypothèses opérationnelles portaient donc sur l'amplitude et la latence de deux ondes cérébrales impliquées dans les processus linguistiques : la MMN et la P300. Pour les sujets écossais, la condition de contraste de durée (condition quasi-phonémique) devrait donc présenter des valeurs d'amplitude et de latence intermédiaires par rapport à la condition de contraste de timbre (condition phonémique) et à la condition de contraste de durée chez les Français (condition allophonique).

2.2.1 MMN

En condition de durée comme en condition de timbre, les participants écossais auront des amplitudes (μV) moyenne et maximale de MMN plus forte, ainsi qu'une latence (ms) de MMN plus courte que les participants de langue française, que ce soit sur l'électrode Fz ou Cz.

Les participants écossais auront des amplitudes (μV) moyenne et maximale de MMN plus forte, ainsi qu'une latence (ms) de MMN plus courte pour le contraste de timbre par rapport au contraste de durée, que ce soit sur l'électrode Fz ou Cz.

Les participants français auront des amplitudes moyenne et maximale de MMN plus forte, ainsi qu'une latence de MMN plus courte pour le contraste de timbre par rapport au contraste de durée, que ce soit sur l'électrode Fz ou Cz.

2.2.2 P300

En condition de durée comme en condition de timbre, les participants écossais auront des amplitudes moyenne et maximale de P300 plus forte, ainsi qu'une latence de P300 plus courte que les participants français, que ce soit sur l'électrode Fz ou Cz.

Les participants écossais auront des amplitudes moyenne et maximale plus forte de P300, ainsi qu'une latence de P300 plus courte pour le contraste de timbre par rapport au contraste de durée, que ce soit sur l'électrode Fz ou Cz.

Les participants français auront des amplitudes moyenne et maximale de P300 plus forte, ainsi qu'une latence de P300 plus courte pour le contraste de timbre par rapport au contraste de durée, que ce soit sur l'électrode Fz ou Cz.

2.3 Résultats

Une onde négative ayant une distribution fronto-centrale s'étend sur la fenêtre [150 ; 265 ms]. Elle présente une amplitude maximale (moyennée sur tous les sujets) de $-4.13 \mu\text{V}$ à une latence moyenne de 259 ms sur Fz et Cz. Cette onde sera considérée comme étant la MMN.

Une deuxième onde, positive, ayant une distribution fronto-centrale s'étend sur la fenêtre [265 ; 420 ms]. Elle présente une amplitude maximale (moyennée sur tous les sujets) de $2.43 \mu\text{V}$ à une latence moyenne de 310 ms sur Fz et Cz. Cette onde sera considérée comme étant la P300, et particulièrement la P3a étant donné que nous avons utilisé un paradigme *oddball* dans lequel les participants n'étaient pas attentifs aux stimuli.

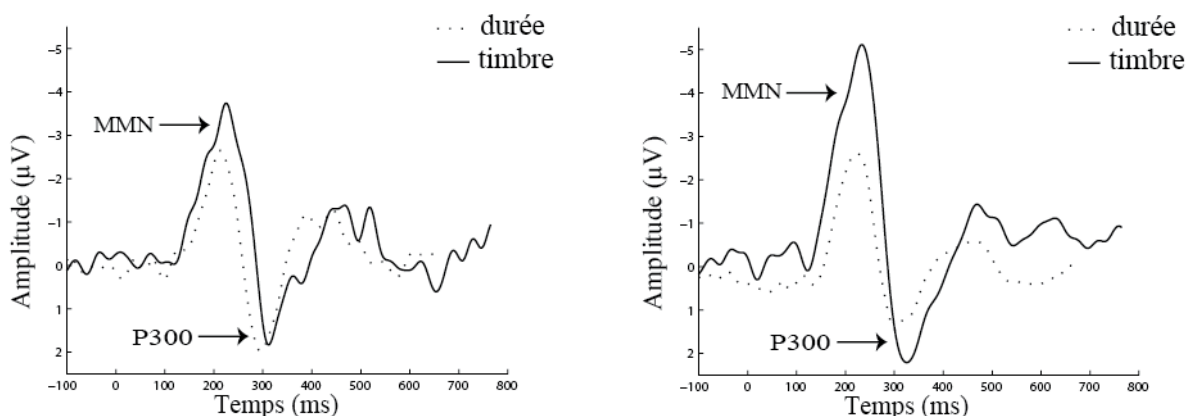


Figure 4 – Tracé moyen de la différence entre les réponses aux stimuli déviants et aux stimuli standards chez les Écossais (à gauche) et les Français (à droite) en fonction de la nature de la déviance acoustique (timbre: ligne continue; durée: ligne pointillée) sur l'électrode Cz. Le temps 0 correspond au début de la déviance entre les paires de stimuli.

Des analyses de la variance à deux facteurs, la nature de la déviance de la voyelle (durée vs. timbre) à mesures répétées et la langue (anglais d'Écosse vs. français) à mesures

indépendantes (logiciel R⁸) ont été effectuées pour les deux ondes cérébrales MMN et P300. Pour chacune des deux ondes nous avons analysé trois variables dépendantes : l'amplitude maximale (μV), l'amplitude moyenne (μV) sur la fenêtre considérée et la latence (ms).

2.3.1 Latence et amplitude de la MMN

La latence moyenne de la MMN varie significativement en fonction de la nature de la déviance acoustique (durée vs. timbre) sur les électrodes Fz ($F(1, 21) = 357.98, p < .001$) et Cz ($F(1, 21) = 355.93, p < .001$) (cf. *Figure 5*). La latence de la MMN est plus courte dans la condition de déviance du timbre (167 ms sur Fz et 168 ms sur Cz) que dans la condition de déviance de durée (248 ms sur Fz et 252 ms sur Cz).

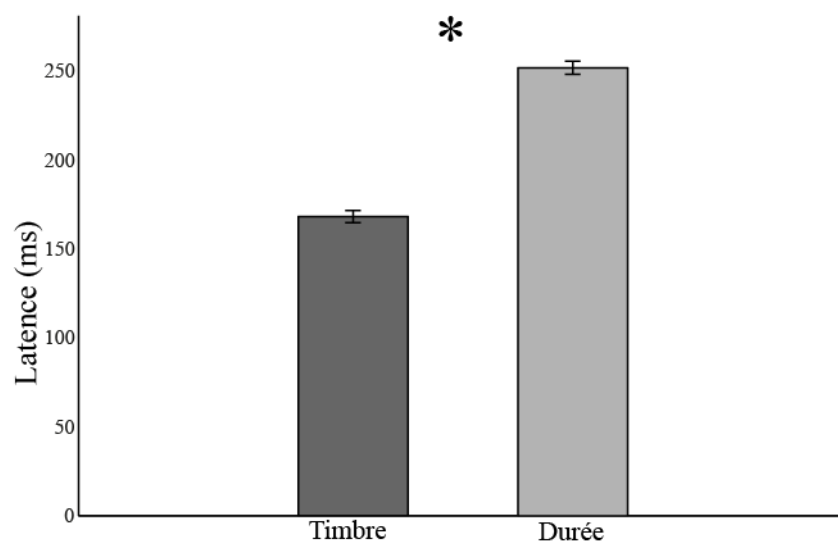


Figure 5 – Latence de la MMN (ms) moyennée sur tous les sujets en fonction de la nature de la déviance acoustique sur l'électrode Cz. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.⁹

L'amplitude maximale de la MMN varie significativement en fonction de la nature de la déviance acoustique (timbre vs. durée) sur les deux électrodes Fz ($F(1, 21) = 14.44, .01 > p > .001$) et Cz ($F(1, 21) = 19.04, p < .001$) (cf. *Figure 6*). L'amplitude maximale de la MMN est plus grande dans la condition de déviance du timbre (-5.02 μV sur Fz et -5.32 μV sur Cz) que dans la condition de déviance de la durée (-3.18 μV sur Fz et -2.98 μV sur Cz).

⁸ Version 2.12.2, 25 février 2011

⁹ L'astérisque (*) indique une différence significative entre les différentes conditions.

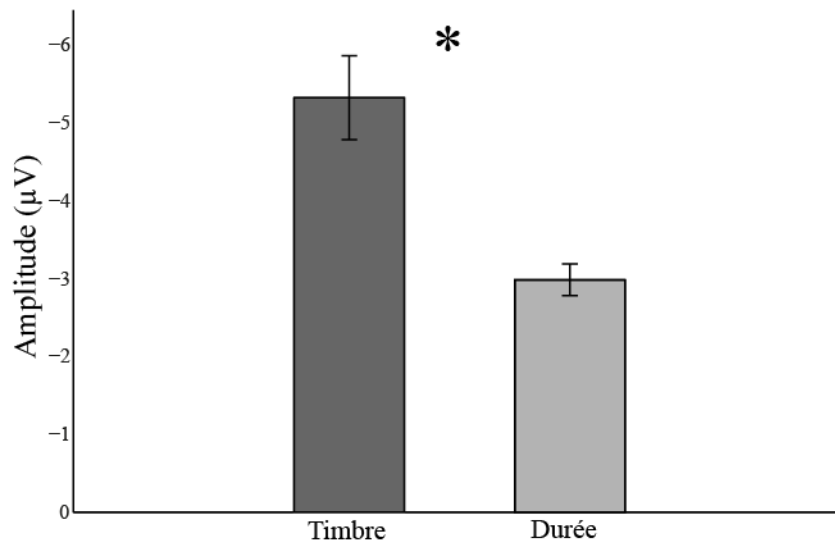


Figure 6 - Amplitude maximale de la MMN (μV) moyennée sur tous les sujets en fonction de la nature de la déviance acoustique sur l'électrode Cz. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.

L'amplitude moyenne de la MMN varie également significativement en fonction de la nature de la déviance acoustique (timbre vs. durée) sur les électrodes Fz ($F(1, 21) = 13.00, .01 > p > .001$) et Cz ($F(1, 21) = 21.10, p < .001$). L'amplitude moyenne de la MMN est plus grande dans la condition de déviance du timbre ($-2.98 \mu\text{V}$ sur Fz et $-3.33 \mu\text{V}$ sur Cz) que dans la condition de déviance de la durée ($-1.65 \mu\text{V}$ sur Fz et $-1.55 \mu\text{V}$ sur Cz).

On ne note pas d'effet significatif de la langue (anglais d'Écosse vs. français) pour l'amplitude maximale, l'amplitude moyenne et la latence de la MMN, et ce, sur les deux électrodes Fz et Cz. Il n'y a pas non plus d'effet d'interaction des deux facteurs pour ces trois variables sur les deux électrodes.

2.3.2 Latence et amplitude de la P300

La latence moyenne de la P300 varie significativement en fonction de la nature de la déviance acoustique (timbre vs. durée) sur les électrodes Fz ($F(1, 21) = 35.86, p < .001$) et Cz ($F(1, 21) = 43.657, p < .001$) (cf. Figure 7)¹⁰. La latence de la P300 est plus courte dans la condition de déviance du timbre (271 ms sur Fz et 271 ms sur Cz) que dans la condition de déviance de la durée (352 ms sur Fz et sur 341 ms sur Cz).

¹⁰ Un des sujets écossais présentait des valeurs aberrantes sur l'électrode Fz pour la P300. L'absence de ces valeurs ne pouvant être liée à l'expérience en elle-même mais plutôt à un problème (artefacts, problème de filtrage, etc.), nous avons donc décidé, en accord avec la littérature (Van Belle, 2002), d'estimer ces valeurs. À partir d'une régression linéaire, nous avons pu déterminer la fonction permettant de prédire les valeurs de latence et d'amplitude de la P300 sur Fz à partir des valeurs sur Cz de tous les participants.

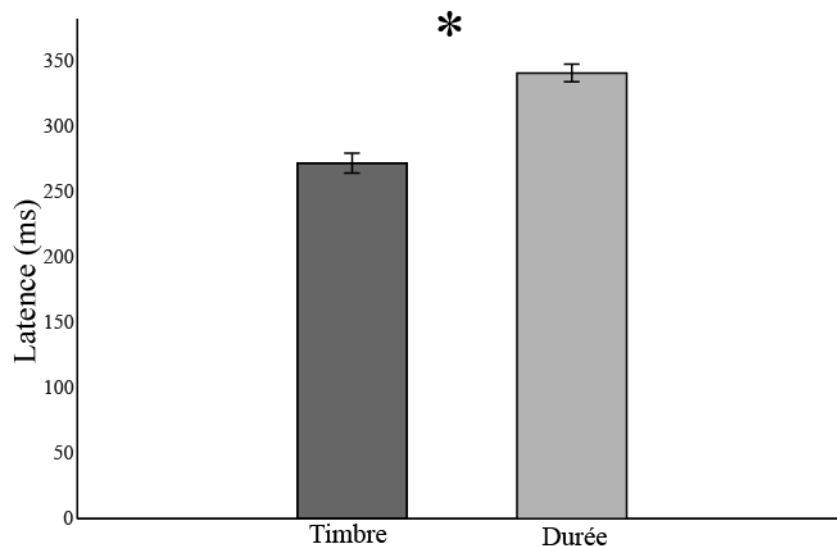


Figure 7 - Latence de la P300 (ms) moyennée sur tous les sujets en fonction de la nature de la déviance acoustique sur l'électrode Cz. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.

L'amplitude maximale de la P300 varie significativement en fonction de la nature de la déviance acoustique (timbre vs. durée) sur les deux électrodes Fz ($F(1, 21) = 5.54, p > .01$) et Cz ($F(1, 21) = 4.47, .05 > p > .01$) (cf. Figure 8). L'amplitude maximale de la P300 est plus grande dans la condition de déviance du timbre (2.69 μ V sur Fz et 2.86 μ V sur Cz) que dans la condition de déviance de la durée (1.96 μ V sur Fz et 2.20 μ V sur Cz).

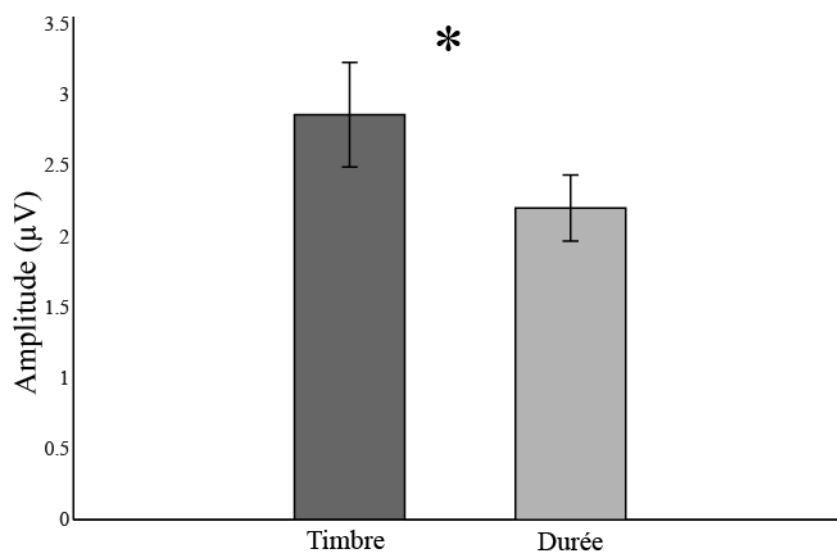


Figure 8 - Amplitude maximale de la P300 (μ V) moyennée sur tous les sujets en fonction de la nature de la déviance acoustique sur l'électrode Cz. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.

On ne note pas d'effet significatif de la langue (anglais d'Écosse vs. français) pour l'amplitude maximale, l'amplitude moyenne et la latence de la P300, et ce, sur les deux électrodes Fz et Cz, ni d'effet de la nature de la déviance acoustique sur l'amplitude moyenne

de la P300 sur les deux électrodes Fz et Cz. Il n'y a pas non plus d'effet d'interaction des deux facteurs pour ces trois variables sur les deux électrodes.

3 Discussion

S'appuyant sur l'Hypothèse de la Phonémicité Gradiente, qui propose l'existence de statuts linguistiques intermédiaires à la phonémicité et à l'allophonie, l'objectif de notre recherche était de mettre en évidence des corrélats cognitifs intermédiaires à ceux générés par des allophones ou des phonèmes. La vérification de cette hypothèse remettrait en question le modèle de la linguistique classique qui suggère que deux sons de la langue ne peuvent être considérés que comme des phonèmes ou des allophones à l'exclusion de toute autre option. Sur la base d'études linguistiques supposant que les contrastes dérivés en anglais d'Écosse présentent ce statut intermédiaire (Ferragne, et al., 2010; Harris, 1990, 1994; Scobbie & Stuart-Smith, 2008), nous avons mis en place un paradigme en électroencéphalographie pour comparer les réponses générées par ces contrastes à celles générées par des différences phonémiques et allophoniques. Ainsi, dans un paradigme *oddball* nous avons exposé des sujets écossais et français à des paires de mots variant sur la durée ou le timbre de la voyelle. Nous avons étudié deux ondes cérébrales particulièrement utilisées dans les études sur la perception de la parole : la MMN et la P300.

La MMN et la P300 étant connues pour être sensibles à des changements dans la nature des stimuli ainsi qu'à l'expérience phonologique des sujets, nous nous attendions à des schémas de réponses différents entre les conditions de variation de la voyelle mais aussi entre les groupes de sujets. Nous attendions notamment des valeurs d'amplitude maximales et des valeurs de latence minimales de la MMN et de la P300 dans la condition de contraste phonémique (i.e., condition de déviance du timbre de la voyelle pour les sujets écossais et français), des valeurs d'amplitude minimales et des valeurs de latence maximales de la MMN et de la P300 dans la condition allophonique (i.e., condition de déviance de la durée de la voyelle pour les sujets français) et des valeurs d'amplitude et de latence intermédiaires pour la condition dite de contraste quasi-phonémique (i.e., condition de déviance de la durée de la voyelle pour les sujets écossais).

Nos résultats ne nous permettent pas à ce jour de valider nos hypothèses. En effet, nous observons un effet principal significatif de la nature de la déviance de la voyelle. En condition de déviance du timbre, les sujets présentent des réponses plus précoces et plus

fortes au niveau de la MMN et de la P300 que pour la condition de déviance de durée pour les deux électrodes analysées (i.e., Fz et Cz). Ceci suggère, en accord avec la littérature (Aaltonen, et al., 1987; Dehaene-Lambertz, 1997; Frenck-Mestre, et al., 2005; Kirmse, et al., 2008; Näätänen, et al., 1997; Nenonen, et al., 2003; Ylinen, et al., 2006) et nos hypothèses, que le contraste de timbre est plus facilement catégorisé que le contraste de durée. Mais nous n’observons aucun effet de la langue, ni d’interaction entre les deux facteurs « langue » et « nature de la déviance acoustique de la voyelle ». Nous ne pouvons donc pas valider notre hypothèse selon laquelle les sujets écossais devaient présenter des amplitudes plus fortes et des latences plus courtes de la MMN et de la P300 que les sujets français. Ces résultats peuvent néanmoins être, au moins en partie, expliqués par la variabilité existant entre les sujets écossais qui étaient peu nombreux (pour un meilleur rapport signal sur bruit, la norme veut que les études EEG soient faites à partir d’au moins 15 sujets). À partir de ces résultats, nous ne pouvons donc pas conclure de manière certaine quant à la comparaison des corrélats cognitifs générés par nos trois conditions phonémique, allophonique et quasi-phonémique. Nous ne pouvons donc pas trancher sur le statut des contrastes dérivés en anglais d’Écosse.

Harris (Harris, 1990) pointait la difficulté de classification des contrastes dérivés. En effet, selon que l’on se place du point de vue structuraliste ou générativiste, ces contrastes sont considérés soit comme des phonèmes, soit comme des allophones respectivement. Harris proposait un statut intermédiaire, dit quasi-phonémique pour résoudre cette ambiguïté dans le statut de ces contrastes.

L’exploration de nos résultats, encore préliminaires, (cf. *Figure 9 et Figure 10*) nous montre qu’une différence entre les réponses EEG des Français et des Écossais pourrait être envisageable, ce qui nous permettrait d’émettre des hypothèses sur le possible statut des contrastes dérivés. En effet, sur les deux électrodes étudiées pour la MMN et la P300, il apparaît que les différences entre les deux conditions de déviance de la voyelle (timbre et durée) tendraient à être plus grandes chez les Français que chez les Écossais. Des tests t de Student pour le groupe des Français montrent en effet que l’amplitude maximale de la MMN diffère significativement entre les conditions de timbre et de durée en Fz ($t_{(16)} = 3.28$, $p = .004$) et Cz ($t_{(16)} = 3.87$, $p = .001$) ; des résultats similaires sont observés pour l’amplitude maximale de la P300 en Fz ($t_{(16)} = -2.63$, $p = .01$) et Cz ($t_{(16)} = -2.78$, $p = .01$). En revanche, chez les Écossais, les tests t de Student montrent que cette différence n’est significative que sur l’amplitude maximale de la MMN ($t_{(5)} = 3.41$, $p = .02$ en Fz et ($t_{(5)} = 4.35$, $p = .007$ en

Cz). Ainsi, chez les sujets écossais, les différences entre les contrastes de timbre (condition phonémique) et de durée (condition quasi-phonémique) tendraient à se réduire. La comparaison entre les groupes de participants des différences entre l'amplitude maximale de la MMN pour la condition de déviance de timbre et pour la condition de déviance de durée a montré une différence tendancielle sur l'électrode Cz ($t_{(21)} = 2.03, p = .06$).

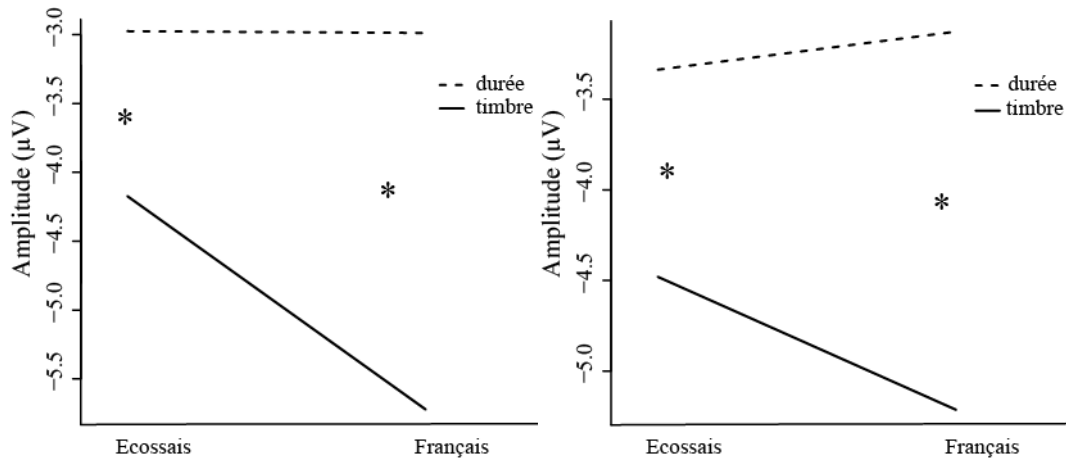


Figure 9 - Amplitude maximale de la MMN (μV) moyennée sur tous les sujets sur les électrodes Cz (à gauche) et Fz (à droite) en fonction de la nature de la déviance acoustique et de la langue du sujet. La différence intergroupe s'est révélée tendancielle en Cz.

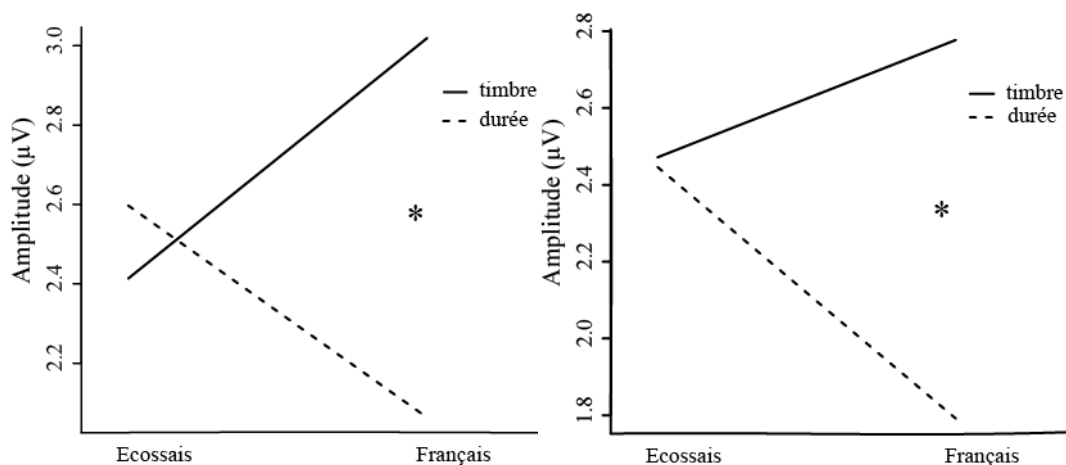


Figure 10 - Amplitude maximale de la P300 (μV) moyennée sur tous les sujets sur les électrodes Cz (à gauche) et Fz (à droite) en fonction de la nature de la déviance acoustique et de la langue du sujet.

Ces résultats auraient donc tendance à pencher en faveur de l'hypothèse structuraliste, selon laquelle les contrastes dérivés se rapprocheraient plus de contrastes phonémiques que de contrastes allophoniques, et on peut imaginer qu'avec des échantillons de population plus grands et plus équilibrés, ces résultats viendraient à se confirmer. Il est possible en effet que l'effet principal du facteur « nature de la déviance acoustique de la voyelle » que nous avons observé dans notre analyse de variance soit principalement porté par le groupe des Français du fait de leur supériorité numérique.

Une des explications possibles au fait que nos résultats ne présentent pas de différence en fonction de la condition « langue » serait que les sujets écossais que nous avons testés ne semblent pas, pour la plupart, présenter dans leur production le phénomène que nous souhaitons étudier. En effet, il se pourrait que nos sujets ne produisent pas et donc ne perçoivent pas le rôle lexical de l’allongement de la voyelle précédant le suffixe du passé. Pour vérifier cela, nous avons analysé les enregistrements audio des sujets écossais sur la voyelle /ai/ de la paire *sighed/side* présente dans le texte (cf *Annexe 1*) qu’ils ont lu avant l’expérience EEG. Le contraste dans cette paire est en effet plus saillant (puisque la variation de durée est doublée d’une variation sur le timbre), et il permet donc de détecter plus aisément la présence du phénomène étudié dans le système phonologique d’un locuteur (Ferragne, et al., 2010). Nous avons analysé les spectrogrammes correspondant à *sighed/side*, et nous avons pu constater qu’un seul sujet semblait produire un allongement significatif de la voyelle précédant le morphème du passé en comparaison à la condition non suffixée (cf. *Figure 11*). Il est alors possible de penser que si nos sujets ne produisent pas ce contraste, ils ne le perçoivent pas non plus, ce qui expliquerait le fait que les sujets écossais présentent des schémas de réponses similaires aux sujets français.

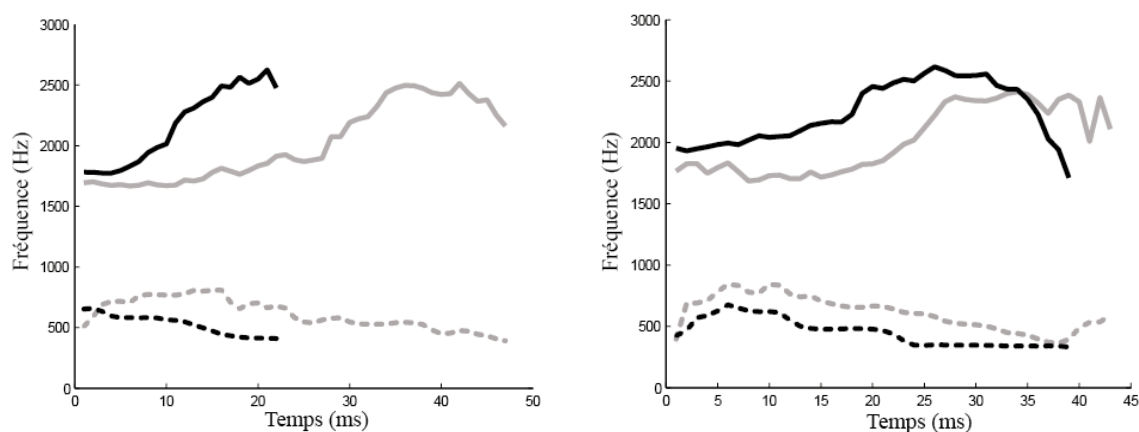


Figure 11 - Représentation schématique de la différence acoustique de longueur entre la prononciation de *sighed* (en gris) et *side* (en noir) chez un sujet allongeant la forme suffixée (01-ECO à gauche) et chez un sujet ne produisant pas cet allongement (07-ECO à droite) pour le premier (ligne discontinue) et le deuxième (ligne continue) formants vocaliques.

Diverses explications peuvent être avancées pour rendre compte du fait que nos participants ne présentaient pas d’allongement de la voyelle suffixée du passé. Nous pouvons d’abord invoquer une raison géographique. En effet, la loi d’allongement des voyelles qui donne lieu aux contrastes dérivés est particulièrement marquée dans la région de Glasgow

(Scobbie, Hewlett, et al., 1999). Or nous n'avons pu recruter que trois sujets écossais venant effectivement de cette région. Une deuxième raison est économique et sociale. Il a été montré que cette particularité d'allongement de la voyelle est fortement dépendante de la classe sociale. Les personnes issues de classes ouvrières présentent en effet plus le contraste de durée que les classes moyennes. Or, nos sujets n'étaient certainement pas issus de la classe ouvrière mais, étant étudiants, plutôt de la classe moyenne, et s'ils étaient de la classe ouvrière, il est possible que pour s'accorder à la norme sociale, ils aient particulièrement veillé à modifier leur accent afin qu'il ressemble davantage à l'anglais standard. Scobbie et collègues (Scobbie, Turk, & Hewlett, 1999) ont en effet montré que le système phonologique des étudiants est plus proche de l'anglais standard que de l'anglais d'Écosse pour des raisons d'adaptation sociale et d'adaptation future au monde du travail qui tend à la mondialisation, et donc à l'uniformisation du langage. Ces deux premières raisons, géographiques et socio-économiques, sont corrélées puisque contrairement à Édimbourg, par exemple, qui est une ville historiquement plus intellectuelle, Glasgow est une ville industrielle et ouvrière. De plus nos sujets étaient tous des étudiants. Les participants les plus représentatifs de cette caractéristique linguistique seraient donc des anglais d'Écosse issus de la classe ouvrière ayant entre 25 et 35 ans, étant nés et ayant grandi à Glasgow. On peut cependant noter que le sujet présentant le contraste d'allongement de la voyelle dans notre étude vient d'Édimbourg ce qui montre le rôle complexe des facteurs géographiques et sociaux qui déterminent la prononciation.

4 Conclusion et perspectives de recherche

Les résultats de cette étude en électroencéphalographie ne permettent pas de conclure sur le statut des contrastes dérivés en anglais d'Écosse, certainement pour des questions d'origines géographique, sociale et économique des participants, de la taille des échantillons, et de la taille des effets analysés. Une étude exploratoire de nos résultats nous laisse cependant penser que ce statut se rapprocherait plus de la vision structuraliste selon laquelle les contrastes dérivés seraient phonémiques.

Il serait alors intéressant de reproduire cette expérience avec le même plan expérimental, mais avec plus de participants écossais, pour équilibrer les groupes, qui viendraient plus particulièrement des classes ouvrières de Glasgow et qui auraient commencé à travailler. Un pré-test pourrait être mis en place pour s'assurer de la production de l'allongement vocalique en condition de dérivation par les participants écossais. Il serait également pertinent de modifier quelque peu le paradigme expérimental en remplaçant la condition allophonique chez le groupe français par une condition allophonique pour les sujets écossais. Ainsi, le plan expérimental serait simplifié et limiterait l'intervention de variables confondues. Une expérience comportementale pourrait également compléter cette étude afin de comparer les comportements des sujets, dans une tâche de décision lexicale par exemple, lorsqu'ils seraient exposés à des contrastes dérivés, à des contrastes phonémiques et à des stimuli allophoniques.

Références

- 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., Edelman, B., Valentin, D., & Dowling, W. J. (2009). *Experimental Design and Analysis for Psychology*. Oxford: Oxford University Press.
- Carvalho, J. B. d., Nguyen, N., & Wauquier-Gravelines, S. (2010). *Comprendre la phonologie* (1re éd. ed.). Paris: Presses universitaires de France.
- Dehaene-Lambertz, G. (1997). Electrophysiological correlates of categorical phoneme perception in adults. *Neuroreport*, 8(4), 919-924.
- Donchin, E. (1981). Surprise! . . . Surprise? *Psychophysiology*, 18, 493-513.
- Dufour, S., Nguyen, N., & Frauenfelder, U. H. (2010). Does training on a phonemic contrast absent in the listener's dialect influence word recognition? *The Journal of Acoustical Society of America*, 128, 43-48.
- Fabiani, M., Gratton, G., & Coles, M. G. H. (2007). Event-related brain potentials: methods, theory, and applications. In J. Cacioppo, Tassinari, L. G., & Berntson, G. G. (Ed.), *Handbook of psychophysiology, 3rd edition* (Cambridge University Press ed., pp. 85-119). Cambridge.
- Ferragne, E., Afonso-Santiago, J., & Pellegrino, F. (2010). Etude acoustique d'un contraste dérivé en anglais d'Ecosse. *actes de Journées d'Etude sur la Parole*.
- Fonteneau, E., Frauenfelder, U. H., & Rizzi, L. (1998). On the contribution of ERPs to the study of language comprehension. *Bulletin suisse de linguistique appliquée*, 111-124.
- 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.
- Gineste, M.-D., & Le Ny, J. F. (2002). *Psychologie cognitive du langage : de la reconnaissance à la compréhension*. Paris: Dunod.
- Harris, J. (1990). Derived phonological contrasts. In S. Ramsaran (Ed.), *Studies in the pronunciation of English: a commemorative volume in honour of A.C. Gimson* (pp. 87-105). London: Routledge.
- Harris, J. (1994). *English sound structure*. Oxford, UK ; Cambridge, Mass.: Blackwell.

- Horvath, J., Winkler, I., & Bendixen, A. (2008). Do N1/MMN, P3a, and RON form a strongly coupled chain reflecting the three stages of auditory distraction? *Biological Psychology*, *79*(2), 139-147.
- Jaramillo, M., Paavilainen, P., & Näätänen, R. (2000). Mismatch negativity and behavioural discrimination in humans as a function of the magnitude of change in sound duration. *Neuroscience Letters*, *290*(2), 101-104.
- Kirmse, U., Ylinen, S., Tervaniemi, M., Vainio, M., Schroger, E., & Jacobsen, T. (2008). Modulation of the mismatch negativity (MMN) to vowel duration changes in native speakers of Finnish and German as a result of language experience. *International Journal of Psychophysiology*, *67*(2), 131-143.
- 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.
- Light, G. A., Swerdlow, N. R., & Braff, D. L. (2007). Preattentive sensory processing as indexed by the MMN and P3a brain responses is associated with cognitive and psychosocial functioning in healthy adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*(10), 1624-1632.
- Morin, E. (1994). Sur l'interdisciplinarité. *Bulletin Interactif du Centre International de Recherches et Etudes Transdisciplinaires*, *2*.
- 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., Huottilainen, 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.
- Nenonen, S., Shestakova, A., Huottilainen, M., & Näätänen, R. (2003). Linguistic relevance of duration within the native language determines the accuracy of speech-sound duration processing. *Cognitive Brain Research*, *16*(3), 492-495.

- O'Grady, W., & De Guzman, V. (2004a). Morphology: the analysis of word structure. In W. O'Grady, & Archibald, J. (Ed.), *Contemporary linguistic analysis: An introduction* (pp. 98-131). Toronto: Pearson/Longman.
- O'Grady, W., & De Guzman, V. (2004b). Phonetics : the sounds of language. In W. O'Grady, & Archibald, J. (Ed.), *Contemporary linguistic analysis: An introduction* (pp. 12-47). Toronto: Pearson/Longman.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128-2148.
- Polich, J., & Criado, J. R. (2006). Neuropsychology and neuropharmacology of P3a and P3b. *International Journal of Psychophysiology*, 60(2), 172-185.
- 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.
- Scobbie, J. M., Hewlett, N., & Turk, A. E. (1999). Standard English in Edinburgh and Glasgow: the Scottish Vowel Length Rule revealed. In P. Foulkes & G. J. Docherty (Eds.), *Urban Voices: Accent Studies in the British Isles* (pp. 230-245). London: Arnold.
- Scobbie, J. M., & Stuart-Smith, J. (2008). Quasi-phonemic contrast and the fuzzy inventory: Examples from Scottish English. In P. Avery, B. E. Dresher & K. Rice (Eds.), *Contrast in Phonology Theory, Perception, Acquisition*, (pp. 87-114). Berlin: Mouton de Gruyter.
- Scobbie, J. M., Turk, A. E., & Hewlett, N. (1999, août 1999). *Morphemes, phonetics and lexical items: the case of the scottish vowel length rule*. Paper presented at the 14th International Congress of Phonetic Sciences, San Francisco.
- Squires, N., Squires, K., & Hillyard, S. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38, 387-401.
- Van Belle, G. (2002). *Statistical rules of thumb*. New York: Wiley-Interscience.

Wells, J. C. (1982). *Accents of English. The British Isles (Vol. 2)*. Cambridge: Cambridge University Press.

Winkler, I., Kujala, T., Tiitinen, H., Sivonen, P., Alku, P., Lehtokoski, A., et al. (1999). Brain responses reveal the learning of foreign language phonemes. *Psychophysiology*, 36(5), 638-642.

Ylinen, S., Shestakova, A., Huotilainen, M., Alku, P., & Näätänen, R. (2006). Mismatch negativity (MMN) elicited by changes in phoneme length: a cross-linguistic study. *Brain Research*, 1072(1), 175-185.

Annexe

Annexe 1 – Texte présentant des contrastes dérivés servant à vérifier la production de l'allongement de la voyelle chez les participants écossais.

Captain Duncan *crewed* on two ships, one of which remained permanently *tied* to a pier in Ayrshire. It was said that he *wooded* fame and success; but few people *knew* that he actually *sighed* for early retirement, and had great *need* of rest. When the *tide* was high, the ship would sway from *side* to side, and Duncan would sit quietly, listening to the endless creak of the *wood*. One day, a fellow mariner made a very *crude* joke and Duncan *kneed* the poor lad overboard.

Résumé

Deux sons d'une langue peuvent être classiquement considérés soit comme deux phonèmes distincts, soit comme des allophones d'un même phonème. Cependant, certains phénomènes, comme les contrastes dérivés en anglais d'Écosse, ne peuvent être classés de façon consensuelle ni dans l'une, ni dans l'autre de ces catégories. L'objectif de notre étude était alors de savoir s'il existe un degré intermédiaire entre le contrastif et le non-contrastif, contrairement à ce que prévoit l'analyse linguistique traditionnelle. Nous avons testé cette Hypothèse de la Phonémicité Gradiente en utilisant la technique des potentiels évoqués en EEG sur 7 participants écossais et 19 Français. Dans un paradigme *oddball* nous avons comparé les corrélats électroencéphalographiques de la sensibilité aux frontières phonémiques à ceux induits par un contraste dérivé en anglais d'Écosse. Les résultats obtenus après l'analyse de la MMN et la P300 (P3a) tendraient à montrer que ces contrastes sont cognitivement plus proches de véritables phonèmes que d'allophones.

Mots-clefs : Hypothèse de la Phonémicité Gradiente, contrastes dérivés, potentiels évoqués, EEG, MMN, P300.