

Université de Montréal

Le traitement de l'accord de l'adjectif et du déterminant en modalité auditive : une étude de  
potentiels évoqués chez les adolescents québécois

*Par*

Guillaume Blais

Département de linguistique et de traduction, Université de Montréal, Faculté des arts et des  
sciences

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de maîtrise

en linguistique

Décembre 2023

© Guillaume Blais, 2023

Université de Montréal

Département de linguistique et de traduction/Université de Montréal/ Faculté des arts et des sciences / Université de Montréal

---

*Ce mémoire intitulé*

**Le traitement de l'accord de l'adjectif et du déterminant en modalité auditive : une étude de potentiels évoqués chez les adolescents québécois**

*Présenté par*

**Guillaume Blais**

*A été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes*

**Mireille Tremblay**

Président-rapporteur

**Simone Falk**

Directrice

**Phaedra Royle**

Co-directrice

**Boutheina Jemel**

Membre du jury

## Résumé

**Objectifs** : 1) Investiguer si des erreurs d'accord en genre en français oral induisent des réponses neurophysiologiques différentes chez les adultes et les adolescents. 2) Comparer les réponses neurophysiologiques induites par des erreurs d'accord en genre sur les déterminants et sur les adjectifs.

**Contexte** : Le genre féminin en français oral est irrégulièrement marqué par une consonne finale sur les adjectifs ([vɛʁ] / [vɛʁt]) et régulièrement marqué par une alternance vocalique sur les déterminants ([lœ] / [la]). Les études d'électroencéphalographie (EEG) ont trouvé que des erreurs d'accord en genre en français oral induisaient chez les adultes des réponses neuronales différentes pour les désaccords sur les adjectifs et ceux sur les déterminants. Des réponses différentes, incomparables à celles des adultes, ont aussi induites chez de jeunes enfants de 4 à 8 ans par les mêmes désaccords. À quel âge ce patron sera comparable à celui des adultes et pour quel processus grammatical n'a pas été étudié exhaustivement.

**Méthodologie** : 29 adultes et 26 (pré)adolescents francophones de 10 à 16 ans ont participé au projet. Les participants ont entendu des phrases contenant un désaccord en genre sur i) le déterminant (*Je vois \*le chaise vert sur la table*) et ii) sur l'adjectif (*Je vois la chaise \*vert dans la boîte*). Ils ont aussi entendu des phrases sans erreur. Les potentiels évoqués ont été extraits de la différence de voltage entre les phrases avec erreurs et les phrases correctes, et ils ont été insérés dans des modèles mixtes linéaires pour comparer les effets entre les deux groupes.

**Résultats** : Les désaccords sur les déterminants ont induit une négativité antérieure (AN) suivie d'une P600 dans les deux groupes. Les erreurs sur adjectifs ont plutôt induit chez les adultes une négativité latéralisée à gauche en plus d'une N400 suivie par une P600. Cette condition a induit une N400-P600 chez les adolescents. Ces résultats nous indiquent que le traitement de l'accord en genre du déterminant semble être mature à l'adolescence, ce qui n'est pas le cas pour celui de l'adjectif. De plus, les N400 trouvées pour les deux groupes indiquent une possible lexicalisation du traitement de l'accord des adjectifs en français.

**Mots-clés** : Grammaire, Potentiels évoqués, Accord en genre, Français oral, Adolescents, Maturation du langage, N400, (L)AN, P600

## Abstract

**Objectives:** 1) Investigate whether neurophysiological responses elicited by spoken French gender agreement errors differ between Quebec adolescents and adults. 2) Compare the response elicited by disagreements on adjectives and determiners.

**Context:** Spoken French gender agreement is irregularly marked on adjectives by a final consonant ([vɛʁ] / [vɛʁt]), whereas it is regularly marked on determiners by a regular final vowel alternation ([lœ] / [la]). Electroencephalography (EEG) studies have found that gender agreement violations on French adjectives and determiners elicited different patterns in adults. Different patterns, however, incomparable to those found in adults, were also found in young children aged 4-8 years old. At what age and for which grammatical process the EEG response will be comparable to adults have yet to be fully explored.

**Methods:** 29 adults and 26 French-speaking (pre)adolescents aged 10-16 years old participated in this project. Participants heard sentences containing gender disagreements on i) determiners (*Je vois \*le chaise vert sur la table* 'I see \*the<sub>M</sub> green chair<sub>F</sub> on the table) ii) on adjectives (*Je vois la chaise \*vert dans la boite* 'I see the \*green<sub>M</sub> chair<sub>F</sub> in the box) iii) sentences with on disagreements. Event-related potentials were extracted by comparing the voltage difference between correct and incorrect sentences; they were then fitted into mixed linear models to compare group differences.

**Results:** Violations on determiners elicited an anterior negativity (AN) followed by a P600 in both groups. Adjective errors elicited, in adults, a lateralized negativity (LN) and a N400 followed by a P600. This condition elicited a N400-P600 in adolescents. These results indicate that French determiner gender agreement seems to be mature in adolescents, which is not the case for adjective gender agreement. Furthermore, the presence of N400 in both groups for adjective mismatches points towards a lexicalisation of adjective gender agreement.

**Keywords:** Grammar, ERP, gender agreement, Spoken French, Adolescents, Language maturation, N400, (L)AN, P600

# Table des matières

Résumé.....	3
Abstract.....	4
Table des matières.....	5
Liste des tableaux.....	8
Liste des figures.....	10
Liste des sigles et abréviations.....	12
Remerciements.....	13
Chapitre 1 – Introduction.....	14
1.1 Morphologie.....	14
1.2.2 Opérations morphologiques.....	15
1.2 Genre.....	16
1.2.1 Assignation du genre.....	16
1.2.2 Accord en genre.....	17
1.3 Accord en genre dans le syntagme nominal en français.....	18
1.4 Traitement morphologique.....	20
1.5 Le modèle déclaratif-procédural.....	22
1.6 Traitement grammatical en français.....	23
1.7 Neuroimagerie.....	25
1.8 Potentiels évoqués.....	26
1.9 Potentiels évoqués dans le traitement de l'accord.....	29
1.10 Traitement de l'accord à l'enfance.....	31
1.11 Traitement de l'accord à l'adolescence.....	35

1.12 La présente étude .....	38
1.12.1 Hypothèses.....	38
Chapitre 2 – Matériel et méthodes.....	39
2.1 Participants.....	39
2.2 Design .....	40
2.3 Conditions.....	41
2.4 Matériel.....	42
2.5 Listes.....	44
2.6 Contexte .....	44
2.7 Procédure .....	45
2.8 Enregistrement EEG et prétraitement .....	47
2.9 Analyses.....	48
Chapitre 3 – Résultats .....	51
3.1 Résultats comportementaux.....	51
3.2 Résultats des analyses de potentiels évoqués.....	51
3.2.1 La condition déterminant.....	51
3.2.1.1 La visualisation des données.....	51
3.2.1.2 Les analyses de la fenêtre de temps de la négativité .....	53
3.2.1.2.1 Analyse des électrodes latérales.....	54
3.2.1.2.2 Analyse des électrodes médiales .....	56
3.2.1.3 Les analyses de la fenêtre de temps de la positivité .....	57
3.2.1.3.1 Analyse des électrodes latérales.....	57
3.2.1.3.2 Analyse des électrodes médiales .....	60
3.2.2 La Condition adjectivale .....	63

3.2.2.1 La visualisation des données.....	63
3.2.2.2 Les analyses de la fenêtre de temps de la négativité .....	65
3.2.2.2.1 Analyse des électrodes latérales.....	65
3.2.2.2.1 Analyse des électrodes médiales .....	67
3.2.2.3 Les analyses de la fenêtre de temps de la positivité .....	69
3.2.2.3.1 Analyse des électrodes latérales.....	69
3.2.2.3.2 Analyse des électrodes médiales .....	72
3.3 Sommaire .....	75
Chapitre 4 – Discussion .....	77
4.1 Négativités antérieures .....	78
4.2 Positivités tardives .....	80
4.3 Erreurs d'accord sur l'adjectif .....	82
4.4 Comparaison entre les adultes et les adolescents.....	87
Chapitre 5 – Conclusion.....	89
Références bibliographiques.....	91
Annexes .....	99
Annexe 1.....	99
Annexe 2.....	103
Liste des adjectifs .....	103
Liste des noms .....	103
Liste des Déterminants.....	103

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b>	<i>Exemples d'études de PÉs qui ont étudié les incongruences en genre.....</i>	31
<b>Tableau 2</b>	<i>Données démographiques moyennes des participants (écart-type entre parenthèses) .....</i>	40
<b>Tableau 3</b>	<i>Condition correctes et incorrectes pour les adjectifs et les déterminants .....</i>	42
<b>Tableau 4</b>	<i>Propriétés des stimuli des noms et des adjectifs : moyennes et écart-type (entre parenthèses) 43</i>	
<b>Tableau 5</b>	<i>Moyenne d'items restant après le rejet des artefacts de mouvement, par condition et par groupe (écart-type entre parenthèses).....</i>	48
<b>Tableau 6</b>	<i>Modèle mixte Imer pour le voltage de la condition déterminant pour les négativités des adultes (400-500 ms) et des adolescents (400-700 ms) pour les électrodes <b>latérales</b>. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.....</i>	55
<b>Tableau 7</b>	<i>Modèle mixte Imer pour le voltage de la condition déterminant pour les négativités des adultes (400-500 ms) et des adolescents (400-700 ms) pour les électrodes <b>médiales</b>. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.....</i>	56
<b>Tableau 8</b>	<i>Modèle mixte Imer pour le voltage de la condition déterminant pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (800-1300 ms) pour les électrodes <b>latérales</b>. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras... ..</i>	58
<b>Tableau 9</b>	<i>Modèle mixte Imer pour le voltage de la condition déterminant pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (800-1300 ms) pour les électrodes <b>médiales</b>. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras... ..</i>	62
<b>Tableau 10</b>	<i>Modèle mixte Imer pour le voltage de la condition adjectivale pour les négativités des adultes et des adolescents (300-500 ms) pour les électrodes <b>latérales</b>. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras. ....</i>	66

<b>Tableau 11</b>	<i>Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les négativités des adultes et des adolescents (300-500 ms) pour les électrodes <b>médiales</b>. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras. ....</i>	68
<b>Tableau 12</b>	<i>Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (900-1100 ms) pour les électrodes <b>latérales</b>. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.....</i>	70
<b>Tableau 13</b>	<i>Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les positivités des adultes et des adolescents pour les électrodes <b>médiales</b>. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras. ....</i>	74
<b>Tableau 14</b>	<i>Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition déterminant pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (800-1300 ms) pour les électrodes latérales-<b>postérieures</b> (électrodes P7, P3, Pz, P4, P8, O1, Oz et O2). ....</i>	99
<b>Tableau 15</b>	<i>Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition déterminant pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (800-1300 ms) pour les électrodes médiales-<b>postérieures</b> (électrodes Pz et Oz) .....</i>	100
<b>Tableau 16</b>	<i>Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition déterminant pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (800-1300 ms) pour les électrodes médiales-<b>centrales</b> (électrode Cz).....</i>	100
<b>Tableau 17</b>	<i>Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les négativités pour les électrodes latérales-<b>médianes</b> .....</i>	101
<b>Tableau 18</b>	<i>Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (900-1100 ms) pour les électrodes latérales-<b>postérieures</b> .....</i>	101
<b>Tableau 19</b>	<i>Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (900-1100 ms) pour les électrodes médiales-<b>centrales</b> (électrodes Cz).....</i>	102
<b>Tableau 20</b>	<i>Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (900-1100 ms) pour les électrodes médiales-<b>postérieures</b> (électrodes Pz et Oz) .....</i>	102

## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	<i>Représentation graphique du modèle Words and Rules. À gauche, les éléments liés au lexique, tels les racines, les mots et les mots morphologiquement complexes irréguliers. À droite, les éléments liés à la grammaire, telles les opérations permettant la construction d'une phrase et la flexion régulière. Source : Pinker et Ullman (2002, p.457).....</i>	21
<b>Figure 2</b>	<i>Enregistrement et digitalisation du signal EEG.....</i>	27
<b>Figure 3</b>	<i>Onde biphasique LAN-P600 suivant une erreur d'accord en genre à l'oral en français où l'onde illustrée en vert représente la condition correcte et l'onde illustrée en rouge représente une erreur d'accord en genre .....</i>	29
<b>Figure 4</b>	<i>Onde N400 suivant une erreur d'accord en genre à l'oral en français où l'onde illustrée en vert représente la condition correcte et l'onde illustrée en rouge représente une erreur d'accord en genre. Source : Courteau et al., (2015).....</i>	34
<b>Figure 5</b>	.....	35
<b>Figure 6</b>	<i>Exemple d'illustration de Zilda l'extraterrestre utilisée dans le paradigme .....</i>	45
<b>Figure 7</b>	<i>Déroulement d'un essai et représentation temps-fréquence d'un fichier audio où le temps 0 des analyses est sur [1] pour les déterminants et [2] pour les adjectifs .....</i>	47
<b>Figure 8</b>	<i>Répartition des électrodes pour chaque condition et facteur. Les électrodes médiales étaient analysées que par le facteur antériorité (électrodes Fz, Cz et Pz/Oz). Les électrodes latérales avaient les facteurs hémisphère (gauche, droite), antériorité (antérieur en rouge, central en jaune et postérieur en orange), et latéralité (médiane en violet et latéral en vert). .....</i>	50
<b>Figure 9</b>	<i>À gauche : représentation du voltage des <b>adultes</b> de la condition <b>déterminant</b> où la condition correcte est en vert et incorrecte en rouge. À droite : distribution de la différence de voltage entre les conditions incorrecte et correcte, pour les fenêtres de temps de la négativité (400–500 ms) et de la positivité (675–1100 ms).....</i>	52
<b>Figure 10</b>	<i>À gauche : représentation du voltage des <b>adolescents</b> de la condition <b>déterminant</b> où la condition correcte est en vert et incorrecte en rouge. À droite : distribution de la différence</i>	

<i>de voltage entre les conditions incorrecte et correcte, pour les fenêtres de temps de la négativité (400–700 ms) et de la positivité (800–1300 ms).....</i>	<i>53</i>
<b>Figure 11</b> <i> Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions déterminants (correcte, incorrecte) pour les positivités des électrodes <b>latérales</b> en fonction du facteur antériorité .....</i>	<i>60</i>
<b>Figure 12</b> <i> Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions déterminants (correcte, incorrecte) pour les positivités des électrodes <b>médiales</b> en fonction du facteur antériorité .....</i>	<i>63</i>
<b>Figure 13</b> <i> À gauche : représentation du voltage des <b>adultes</b> de la condition <b>adjectivale</b> par le temps où la condition correcte est en vert et incorrecte en rouge. À droite, distribution de la différence de voltage entre les conditions incorrecte et correcte, pour les fenêtres de temps de la négativité (300-500 ms) et de la positivité (675-1100 ms) .....</i>	<i>64</i>
<b>Figure 14</b> <i> À gauche : représentation du voltage des <b>adolescents</b> de la condition <b>adjectivale</b> par le temps où la condition correcte est en vert et incorrecte en rouge. À droite, distribution de la différence de voltage entre les conditions incorrecte et correcte, pour les fenêtres de temps de la négativité (300-500 ms) et de la positivité (900-1100 ms) .....</i>	<i>65</i>
<b>Figure 15</b> <i> Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions adjectivales (correcte, incorrecte) pour les négativités des adultes et des adolescents pour les électrodes <b>latérales</b> par latéralité.....</i>	<i>67</i>
<b>Figure 16</b> <i> Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions adjectivales (correcte, incorrecte) pour les négativités des adultes et des adolescents pour les électrodes <b>médiales</b> (Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz).....</i>	<i>69</i>
<b>Figure 17</b> <i> Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions adjectivales (correcte, incorrecte) pour les positivités des électrodes <b>latérales</b> en fonction du facteur antériorité .....</i>	<i>72</i>
<b>Figure 18</b> <i> Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions adjectivales (correcte, incorrecte) pour les positivités des électrodes <b>médiales</b> en fonction du facteur antériorité .....</i>	<i>75</i>

## Liste des sigles et abréviations

PÉs : Potentiels évoqués

EEG : Électroencéphalographie

LAN : *Left anterior negativity*, négativité antérieure latéralisée à gauche

AN : *Anterior negativity*, négativité antérieure

LN : *Left-lateralized negativity*, négativité latéralisée à gauche

P600 : Positivité postérieure émergeant à 600 ms

## Remerciements

J'aimerais particulièrement remercier mes directrices, la docteure Simone Falk et la docteure Phaedra Royle, qui m'ont permis de mener ce projet à terme et à ma façon. J'aimerais aussi remercier le docteur Karsten Steinhauer pour ses connaissances en neurolinguistique et ses conseils en matière de potentiels évoqués. Finalement, je me dois de remercier la docteure Émilie Courteau, qui m'a fait confiance dans le cadre de ce projet.

# Chapitre 1 – Introduction

## 1.1 Morphologie

La morphologie, du grec *morph-*, signifiant la forme, fait référence à la structure interne des mots. Les mots peuvent être simples ou complexes. Les mots simples représentent des racines qui ne peuvent pas être décomposées en unités plus petites (p. ex. *chemise*, *rouge*). Ils sont composés d'un seul *morphème*. Les mots complexes sont ceux qui sont composés de plusieurs morphèmes combinés à une base ou une racine (p. ex. *in-désir-able*). À l'oral, la manifestation des morphèmes est plutôt des *morphes* (p. ex. [vɛʁ] + [t]). Les différentes manifestations phonologiques d'un même morphème sont des *allomorphes*. Par exemple, le morphème du passé régulier en anglais, *-ed*, comporte trois allomorphes : [d], [t] et [əd]. Selon certains linguistes, un morphème peut avoir une valeur nulle. Sa signification est présente dans la construction du mot complexe, mais elle n'est pas prononcée ou écrite. Par exemple, l'adjectif français *vert* [vɛʁ] serait en réalité composé de deux morphèmes : la racine [vɛʁ] et le morphème nul du MASCULIN.

La morphologie est un des piliers de la linguistique, il serait possible de dire que tous s'entendent sur son existence. Ceci n'est cependant pas le cas : différents courants de pensée proposent que la morphologie pourrait être un épiphénomène de chevauchement phonologique et sémantique. Cette description est particulièrement utilisée dans le contexte du traitement de l'accès lexical. Certaines perspectives proposent une vision holistique de l'analyse lexicale, où les mots complexes ne sont pas décomposés, mais plutôt analysés comme un tout. Les données recueillies dans les études en psycho-neurolinguistique et les données de productions des enfants semblent pointer vers l'existence de la décomposition des structures et d'opérations combinatoires. Les enfants et les adultes sont sensibles aux critères de structure morphologique de leur langue(s), en dérivation et en flexion (voir section 1.2.2). Ces données, parmi d'autres, sont utilisées pour appuyer l'idée que la morphologie, tel que décrit en linguistique formelle, est une composante primordiale dans le traitement langagier (Duncan et al., 2009; Grimaldi et al., 2023). Une description plus approfondie de ce débat sera présentée dans la section 1.4.

## 1.2.2 Opérations morphologiques

Dans les langues indo-européennes, incluant le français, nous comptons trois opérations morphologiques permettant l'union de morphèmes dans la construction des mots complexes. 1) la flexion, souvent obligatoire, est l'association entre une racine ou une base et un morphème flexionnel. Une *racine* dans ce contexte sera le terme utilisé pour un mot simple composé d'un seul morphème et une *base* sera l'unité sur laquelle l'opération sera effectuée. Une *base* peut ainsi être une racine, mais elle peut aussi être morphologiquement complexe. Les morphèmes flexionnels portent des marques de temps (p. ex. futur, passé), d'aspect (p. ex. perfectif, imperfectif), de nombre (singulier ou pluriel) de genre (féminin ou masculin) et de personne (p. ex. première, deuxième). Les affixes flexionnels en français sont des suffixes (Broc et al., 2021; Mel'cuk, 1996). 2) les morphèmes dérivationnels se distinguent des affixes flexionnels de quatre façons : i) ils ne sont pas obligatoires, ii) ils peuvent changer la partie du discours de la base (p. ex. *change-r<sub>V</sub>* → *change+ment<sub>N</sub>* iii) chaque affixe porte une signification qui lui est propre (p. ex. -age [l'action de *v*]) et iv) ils peuvent être des préfixes ou des suffixes. Généralement, les préfixes ne vont pas changer la partie du discours de la base (Mel'cuk, 1996). Les morphèmes dérivationnels peuvent aussi porter des significations de genre inhérentes (p.ex. le morphème -*ment* en français dérive un nom masculin). (3) La composition permet l'union de deux bases (p. ex. charpentier-menuisier). La composition de deux bases est peu utilisée en français, mais est plus productive lorsque les bases sont accompagnées de prépositions (p. ex. pomme de terre). Ces composés sont des *paralexèmes* et sont particulièrement productifs en français (Gross, 1982). La composition de deux bases sans prépositions est plus productive dans d'autres langues, comme l'anglais (Bauer, 2003).

Ce projet vise l'étude de l'accord grammatical. L'accord peut impliquer des processus de flexion, mais ce n'est pas systématique en français. L'accord comprend, entre autres, le genre (masculin et féminin), le nombre (singulier et pluriel) et la personne (1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>). L'accord peut être défini comme un lien sémantique ou formel entre deux éléments linguistiques différents (Corbett, 1991). L'accord varie d'une langue à une autre, par exemple, l'anglais n'a pas d'accord en genre<sup>1</sup>, et les marques d'accord peuvent être différentes à même une langue (p. ex. les marques en genre

---

<sup>1</sup> L'anglais a cependant des pronoms genrés, comme *she* et *he* 'elle, lui'

en français). Une description plus approfondie de l'accord en genre sera présentée dans la section 1.2.2.

## 1.2 Genre

### 1.2.1 Assignation du genre

D'après Hockett (1958; 231), le genre est « une propriété des noms reflétée dans le comportement des mots associés ». Cette description nous indique que 1) le genre est une propriété intrinsèque des lexèmes qui, dans plusieurs langues, ne possèdent pas d'indices morphologiques ou sémantiques pour l'indiquer et 2) le genre se transmet sur d'autres mots via l'opération d'accord. Le point en 1) s'applique au genre grammatical, qui est différent du genre sémantique. Le genre sémantique comporte une signification en genre inhérente au mot, par exemple, *mère* et *père* auront leur genre *féminin* et *masculin* respectifs. Ceci n'est pas le cas pour le genre grammatical, qui, d'après Bloomfield (1933; 280) en faisant mention spécifiquement du français, ne semble pas avoir de critères transparents selon lesquels il pourrait être déterminé. D'après Bloomfield (1933), le locuteur devra apprendre le genre de chaque lexème individuellement. Cependant, dans la majorité des langues, le genre d'un nom peut être prédit morphologiquement, phonologiquement, et parfois sémantiquement. Les langues comportant un système de genre purement sémantique sont rares, mais elles existent. Par exemple, les langues dravidiennes, parlées en Asie du Sud. L'assignation via la sémantique est cependant présente dans presque toutes les langues lorsqu'il est mentionné des humains ou des animaux (p. ex. *lion* et *lionne* auront respectivement le genre masculin et féminin, car ils réfèrent à des animaux de sexes différents). Le genre peut aussi être prédit à l'aide des différents morphèmes d'un mot. Par exemple, en allemand, *Mausmännchen* 'souris<sub>NPI</sub>' est neutre. Ce mot complexe est composé des morphèmes (*Maus*<sub>F</sub> + *Männ*<sub>M</sub> + *chen*<sub>MPI</sub>)<sub>NPI</sub>. En allemand, le morphème final définit le genre du dérivé<sup>2</sup>. Un principe similaire est présent en français, lors des compositions de verbes et de noms, par exemple, *porte-monnaie*. Dans cet exemple, *monnaie* est féminin, mais *porte-monnaie* est masculin, car les structures de type V+N sont toujours masculines en français.

---

<sup>2</sup> Pour une description des règles d'assignation de genre en allemand en profondeur, voir Corbett (1999)

Finalement, le genre peut être prédit à l'aide de règles phonologiques. En français, la terminaison d'un nom peut nous indiquer son genre : 94% des noms finissant en [ʒ] sont masculins (p. ex. *ménage* [menaʒ]) et 92% des noms finissant en [m] sont aussi masculin, mais ce ne sont pas tous les phonèmes du français qui portent ce haut taux de prévisibilité (Tucker, Lambert & Rigault, 1977). Enfin, *femme* [fam], est féminin malgré sa terminaison en [m], car il porte un genre sémantique féminin. On pourrait alors dire qu'il y a une hiérarchie dans les règles d'assignation du genre, et que le genre sémantique domine sur l'assignation via les règles phonologiques (Corbett, 1991). Ceci est cohérent, si l'on prédit que le genre est intrinsèquement sémantique (Aksenov 1984: 17-18).

Ces régularités sont supportées par l'assignation de genre sur les emprunts d'autres langues et les données sur l'assignation de genre sur des non-mots, qui nous indiquent la capacité de déduire le genre d'un nouveau nom basé sur sa construction phonologique et morphologique (Seigneuric et al., 2007).

Finalement, le genre doit être par définition minimalement binaire. En français, en espagnol et en italien, le nom peut être soit masculin soit féminin. D'autres langues ont aussi un troisième genre neutre, comme l'allemand. Les langues peuvent aussi ne pas avoir de marqueurs apparents du genre grammatical, comme l'anglais, malgré la présence d'un genre sémantique. Le genre peut aussi ne pas être lié simplement au concept de sexe (masculin, féminin et neutre), mais aussi à la forme et le niveau social, comme le Swahili, parlé en Afrique orientale, qui comporte 6 genres. (Corbett, 1991).

### **1.2.2 Accord en genre**

D'après Steele (1978 :610), l'accord peut se définir comme « [...] la covariance systématique entre une propriété formelle ou sémantique d'un élément et d'une propriété formelle d'un autre ». Cette description est congruente avec celle de Bloomfield (1933), où l'accord est un lien ou une congruence entre un élément porteur de traits, un contrôleur, et un élément receveur, une cible. Le contrôleur peut avoir un genre qui est sémantique ou grammatical, mais la cible n'est porteuse que de l'information grammaticale. L'accord, en genre spécifiquement, peut se faire entre le nom et différents éléments, dépendamment des langues. Par exemple, en français, le nom donne son

genre à l'adjectif et au déterminant (p. ex. *cette petite lampe*<sub>F</sub>). Dans les langues arabes et en indou, le verbe doit aussi s'accorder en genre avec le nom de la troisième personne.

De plus, la manifestation de l'accord peut dépendre des autres marqueurs d'accord et de la modalité, écrite ou orale. Par exemple, en français, la marque audible du féminin sur le déterminant défini n'est présente qu'au singulier : le marqueur du pluriel ne peut pas être combiné à l'accord en genre, comme dans *les chaises vertes* [lɛʒzɛvɛʁt], où seul le pluriel est audible sur le déterminant. En contrepartie, la marque de genre [t] est présente sur l'adjectif, mais le pluriel n'est pas prononcé, sauf en contexte de liaison<sup>3</sup>, mais il est présent à l'écrit. Cette distinction est présente aussi dans d'autres langues, en russe par exemple, où le pluriel exclut l'accord en genre sur les adjectifs, par exemple, *novye* 'nouveaux' porte le sens PLURIEL, mais aucune marque de genre. Le marqueur en genre en russe porte aussi la signification du singulier, par exemple, dans *novyj avtomobil'* 'une nouvelle voiture', l'affixe *-yj* porte le sens SINGULIER et MASCULIN, alors que l'équivalent en français, *-elle* [ɛl], ne porte que le sens FÉMININ (Corbett, 2017).

La fonction et l'utilité de l'accord dépendent de la langue et du type d'accord en question. En français, il serait possible de dire que l'accord en genre est redondant et même inutile (Cornish, 1994). L'accord peut cependant avoir une utilité dans la compréhension du discours, dans les constructions anaphoriques avec des pronoms clitiques (*il, elle, la, le*), par exemple. Pour ce projet, nous intéressons au traitement de l'accord obligatoire en genre. La pertinence de l'accord du syntagme nominal en genre en français oral sera présentée dans la section 1.3.

### 1.3 Accord en genre dans le syntagme nominal en français

En français, le genre grammatical d'un syntagme nominal est défini par son nom et les constituants qui l'accompagnent doivent s'accorder avec lui. À l'oral, les déterminants singuliers peuvent être marqués pour le féminin par une alternance vocalique régulière (p. ex. *le, la* [lœ] / [la] *mon, ma* [mɔ̃] / [ma]), une épenthèse consonantique avec une alternance vocalique moins régulière et moins fréquente (p. ex. *ce, cette* [sœ] / [set]), une dénasalisation avec une épenthèse

---

<sup>3</sup> La production de la liaison sur les adjectifs est aussi contrainte par des règles sociolinguistiques (voir par ex., Wauquier et al, 2010)

consonantique (p. ex. *un, une* ([ỹ]/[yn]), ou peut ne porter aucune marque audible au féminin (p. ex. *cet, cette* [set]/ [set]). Dans ce projet, nous évaluerons l'accord sur les déterminants définis singuliers *le* et *la*.

Les adjectifs non dérivés peuvent être marqués par une alternance consonantique finale (p. ex. *vert-verte* [vɛv] / [vɛvt]). Cependant, cette alternance est moins transparente, régulière ou prévisible que celle des déterminants définis, puisqu'en réalité, les adjectifs en français oral peuvent être accordés de trois façons : (1) ils peuvent être épiciens (p. ex. *jaune<sub>M/F</sub>* [ʒon]), (2) ils peuvent porter une consonne finale audible au féminin (p. ex. *gris-grise* [gvi] / [gviz]) et (3) ils peuvent porter soit une forme supplétive ou une modification de la base, au féminin (p. ex. *beau-belle* [bo] / [bɛl]) ou un morphème dérivationnel qui porte une marque de genre (p. ex. *actif-active* [aktif] / [aktiv]). Le premier groupe implique 58-66% des adjectifs en français, le second ~38% et le troisième les ~4% restant (An & Abeillé, 2022; Durand, 1936; St-Pierre & Béland, 2010). Cependant, les adjectifs les plus utilisés à l'oral sont ceux du second groupe, qui portent une marque consonantique audible au féminin (Gougenheim et al., 1964; St-Pierre & Béland, 2010). Bien que les adjectifs du second groupe portent une marque audible du genre, le choix de la consonne n'est pas prévisible, car au moins 9 consonnes finales différentes sont disponibles pour les adjectifs de ce groupe (Durand, 1936). Certaines de ces consonnes sont cependant plus prévisibles que d'autres. Par exemple, Durand (1936) a trouvé que 99% des adjectifs masculins ayant une terminaison en [ø], ainsi que 65% des adjectifs terminant en [ɛ], prennent [z] comme marque consonantique du féminin (p. ex. *français-française* [fʁãsɛ]/[fʁãsɛz], *dangereux-dangereuse* [dãʒœvø]/[dãʒœvøz]). Ceci n'est toutefois pas représentatif de la totalité des adjectifs, car les autres terminaisons vocaliques au masculin, comme celles en [o] par exemple, auront des terminaisons variées au féminin, telles [z] ou [s] (p. ex. *gros-grosse* [gʁo]/[gʁos]). De plus, les adjectifs tels *français* et *dangereux* sont en réalité des dérivés, ce qui pourrait exercer une influence sur la régularité de la marque d'accord, et n'explique pas les consonnes finales dans les adjectifs de type 2. Une distinction importante doit aussi être faite entre les adjectifs prénominaux et postnominaux. Notamment, la marque consonantique du féminin sur les adjectifs prénominaux peut aussi se retrouver sur la forme masculine, lorsque l'adjectif est suivi d'un nom commençant par une voyelle, ce qui crée un contexte de liaison (p. ex. *petit aimant*

[pœtitɛmã]. Ceci est moins souvent le cas pour les adjectifs postnominaux utilisés dans ce projet. Les répercussions de ces différences sur l'acquisition et la maturation des processus grammaticaux seront explorées dans la section 1.10.

## 1.4 Traitement morphologique

Deux questions fondamentales sont avancées par les modèles psycholinguistiques du traitement grammatical : (1) de quelle façon les mots morphologiquement complexes, dérivés ou fléchis, sont-ils représentés cognitivement? Deux courants de pensée s'opposent sur cette question : (1.1) les mots complexes sont décomposés en unités (morphèmes) plus petites (où *verte* serait décomposé en *vert* + [FÉM], où un allomorphe du morphème flexionnel du féminin [+FÉM] est choisi à partir de ceux possibles, par exemple [t] ou [z]). Ces modèles sont dits **génératifs** (Clahsen, 1999; Taft, 1979; Westermann & Jones, 2021). (1.2) Les formes dérivées et fléchies d'un lexème sont encodées lexicalement et analysées en tant que mot-complet (p. ex. *vert* [vɛʁ]ₘ et *verte* [vɛʁt]₆ seraient engrangés séparément). Ces modèles sont dits **associatifs** (Butterworth, 1983; Manelis & Tharp, 1977; Westermann & Jones, 2021).

(2) La représentation des mots morphologiquement complexes se fait-elle via un seul des systèmes présentés précédemment, ou les deux systèmes opèrent-ils conjointement, en compétition ou en union (modèles dits à deux voies) (Clahsen, 1999; Clahsen et al., 2001; Pinker & Prince, 1991; Reifegerste et al., 2017)? Plusieurs modèles psycholinguistiques tentent d'intégrer le traitement morphologique et les représentations par mot-complet via deux systèmes séparés (p. ex. Frauenfelder & Schreuder, 1992; Laudanna & Burani, 1985; Schreuder & Baayen, 1995). Pinker (1999) a proposé le modèle *Words and Rules* (mots et règles) où les formes régulières sont traitées via des règles morphologiques et les formes irrégulières encodées lexicalement. Ce modèle a été développé principalement pour expliquer le traitement des verbes irréguliers au passé en anglais. En anglais, les verbes réguliers au passé prennent un allomorphe de *-(e)d* ([d], [t] ou [əd]) comme terminaison, alors que les verbes irréguliers portent une autre marque d'accord, souvent une alternance vocalique<sup>4</sup>, comme *sing-sang* 'chanter-chanté'. D'après ce modèle, les formes régulières sont formées via une règle productive, où *-ed* est combiné à la

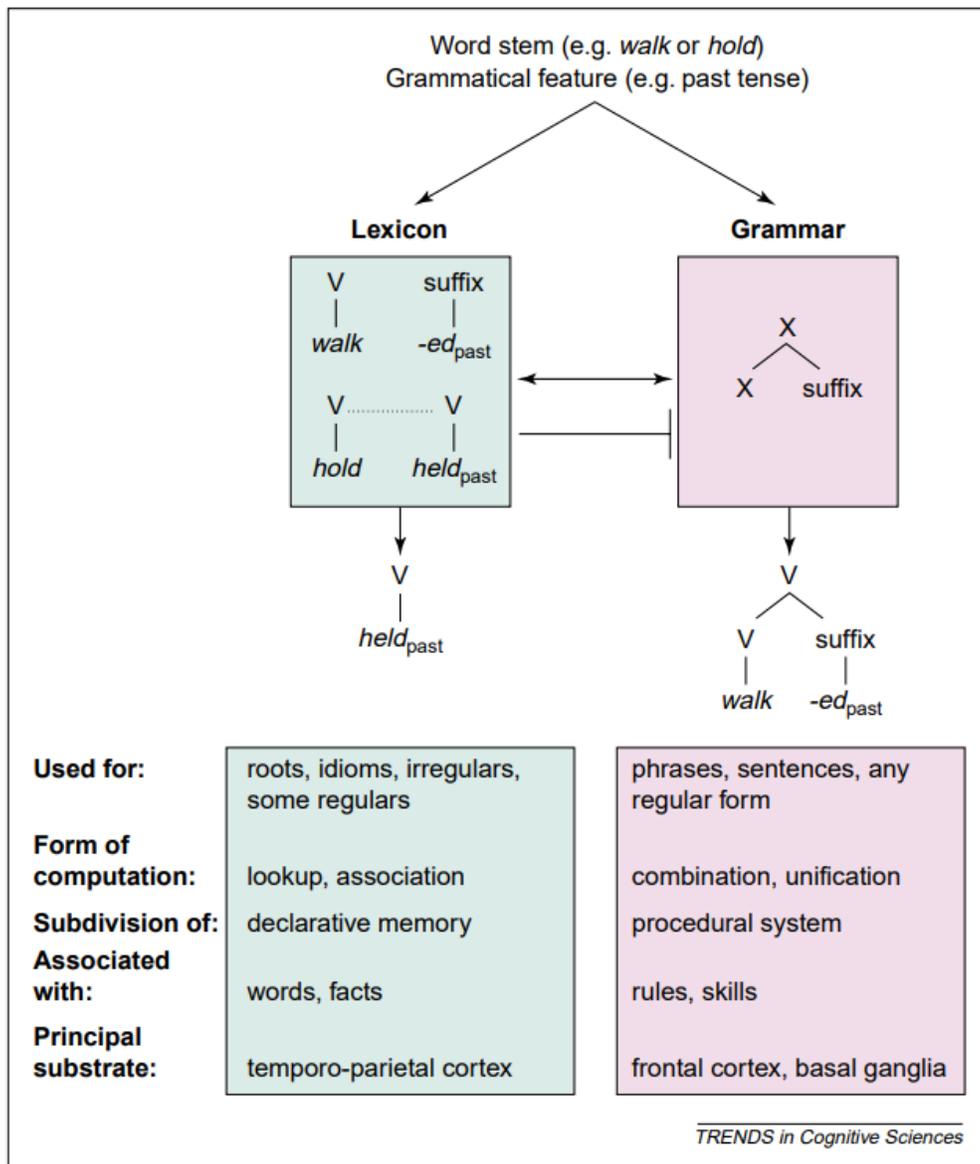
---

<sup>4</sup> Un seul verbe en anglais est réellement supplétif et irrégulier : *To be-was* 'être-était'.

base. Une telle opération est analogue à celles de la production de phrases, dans la mesure où il s'agit d'une opération grammaticale symbolique liant deux unités linguistiques de façon productive (Pinker & Ullman, 2002). Les formes irrégulières, elles, sont des entrées lexicales, comme les racines, qui portent en elles la signification de temps passé (Figure 1).

**Figure 1**

*Représentation graphique du modèle Words and Rules. À gauche, les éléments liés au lexique, tels les racines, les mots et les mots morphologiquement complexes irréguliers. À droite, les éléments liés à la grammaire, telles les opérations permettant la construction d'une phrase et la flexion régulière. Source : Pinker et Ullman (2002, p.457)*



## 1.5 Le modèle déclaratif-procédural

Un modèle similaire au *Words and Rules* est le modèle déclaratif-procédural (DP) de Michael Ullman (Ullman, 2004) . Ce modèle permet de réconcilier les éléments cognitifs du *Words and Rules* et les théories sur les systèmes mnésiques multiples et leurs corrélats neuroanatomiques respectifs. Dans ce modèle, les formes irrégulières et régulières sont aussi traitées par deux mécanismes sous-jacents différents : la mémoire déclarative et la mémoire procédurale respectivement. Par mémoire déclarative, nous faisons référence au système mnésique utilisé dans l'apprentissage, la représentation et la récupération de faits et évènements. Les régions cérébrales sollicitées dans le système déclaratif sont principalement l'hippocampe et les structures médiales temporales (Ullman & Pullman, 2015). D'autres régions des structures médiales temporales, tels les cortex entorhinal, parahippocampique et périrhinal, jouent un rôle crucial pour ce système (pour une revue anatomique complète du système déclaratif-procédural, voir Ullman, 2004). La mémoire sémantique et la mémoire lexicale seraient des composantes de la mémoire déclarative. La mémoire procédurale est impliquée dans l'acquisition de compétences, des habitudes et des « opérations », par exemple, faire du vélo ou jouer la musique. L'information en mémoire procédurale est implicite et ne peut pas être accédée directement (Ullman, 2004). Les régions impliquées dans le système procédural sont les ganglions de la base, notamment le globus pallidus, les noyaux sous-thalamiques et la substance noire, et le cortex frontal (Ullman & Pierpont, 2005). D'après ce modèle, la mémoire déclarative serait responsable de l'encodage lexicalisé des formes irrégulières tandis que la mémoire procédurale serait impliquée dans le traitement des formes régulières. La richesse du modèle DP réside dans la profondeur des réseaux neuroanatomiques pour expliquer des phénomènes du langage. Cependant, le modèle ne permet pas totalement de saisir le traitement temporel du langage. Les méthodes décrites dans Ullman (2004) sont anatomiques, et ont particulièrement une faible résolution temporelle. Dans de cette étude, nous nous intéresserons au traitement fonctionnel du langage et moins aux liens anatomiques. Les fondements des modèles *Words and Rules* et DP seront toutefois utilisés pour ce projet, notamment, la description du traitement langagier en termes de deux systèmes mnésiques distincts.

## 1.6 Traitement grammatical en français

Tel que présenté précédemment, l'accord en genre en français peut être transparent, ou opaque. En ce qui concerne les adjectifs, l'accord du genre pourrait être traité lexicalement, en sollicitant directement la mémoire lexico-sémantique. Cependant, si ce sont plutôt des opérations morphophonologiques qui dictent l'accord en genre, deux possibilités se présentent : (1) la forme par défaut est le masculin et une règle d'épenthèse, ou d'ajout, consonantique, extraite de l'environnement phonologique est appliquée ( $\emptyset \rightarrow C$ ) (p. ex. brun  $\rightarrow$  brune; [bʁœ̃ $\emptyset$ ]  $\rightarrow$  [bʁyn]). (2) la forme par défaut est le féminin et une règle d'élision consonantique est appliquée pour dériver la forme masculine ( $C \rightarrow \emptyset$ ) (p. ex. verte  $\rightarrow$  vert; [vɛʁt]  $\rightarrow$  [vɛʁ $\emptyset$ ]) (Fink, 1985; Paradis & El Fenne, 1995; Royle, 2011). Paradis et el Fenne (1995) proposent une règle d'élision  $C \rightarrow \emptyset$ . Ce modèle permet de simplifier l'accord de l'adjectif en introduisant qu'une seule règle. Une règle d'élision ne permet cependant pas d'expliquer les ~58% d'adjectifs épiciens (Gougenheim et al., 1964; St-Pierre & Béland, 2010). Un modèle à deux voies permettrait d'expliquer cette disparité, où les adjectifs applicables seraient traités à l'aide de la règle  $C/\emptyset$  et les autres seraient traités supplétivement. Cependant, deux critiques de cette analyse doivent être soulevées : (1) des évidences contre la productivité et l'utilisation de règles  $C/\emptyset$  ont été trouvées par Fink (1985). Dans cette étude, des néologismes adjectivaux (p.ex. *bravais* [bʁavɛ]) étaient présentés aux participants et ils devaient en former soit le masculin, soit le féminin. Les résultats de cette étude ont montré que les participants avaient tendance à conserver la même forme lorsqu'ils devaient former le masculin à partir du féminin; 97,5% des réponses données n'avaient pas d'élision. (2) Les règles morphophonologiques de l'accord de l'adjectif pourraient être épiphénoménales, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un apprentissage a posteriori. À un bas âge, l'enfant sera exposé aux deux formes des adjectifs et une règle liant les deux formes ne sera pas nécessairement évidente avant une exposition continue à chaque forme, qui seront déjà lexicalisées (Royle, 2011). Royle et Valois (2010) catégorisent les règles extraites des adjectifs à consonne finale au féminin comme étant métalinguistiques. Elles ne surviendraient qu'après un apprentissage lexicalisé. Pinker et Prince (1991) soulèvent aussi la nature épiphénoménales des règles lorsqu'elles sont extraites suivant l'acquisition de l'accord. Ce type de règle n'aurait pas toujours d'utilité dans le développement du langage et serait acquis a posteriori.

Les résultats de Fink (1985) appuient cette hypothèse de règles métalinguistiques. Il a montré que les épenthèses consonantiques faites lors des conditions masculin → féminin ne corroboraient pas les avec prédictions d'un modèle statistique basé sur les fréquences des terminaisons. Par exemple, lorsque les participants devaient construire le féminin du faux adjectif *bravais* [bʁavɛ], la forme féminine attendue aurait été [bʁavɛz] car [z] est la marque du féminin la plus fréquente pour les adjectifs qui se terminent en [ɛ] (Durand, 1936). Les participants ont produit d'autres formes que celles attendues, tel *bravette* [bʁavɛt]. Fink (1985) explique les résultats de cette tâche en soulignant que les règles morphophonologiques pour les adjectifs ont une faible prévisibilité. Ce concept est repris et réanalysé par Albright (2002), qui nomme cette prévisibilité la **fiabilité**. Elle fait référence à la prévisibilité d'un changement structurel d'une règle phonologique comparativement à sa description structurelle. Pour une règle  $A \rightarrow B/C\_D$ , la **description structurelle** est définie par le nombre de formes qui contiennent le changement (les éléments CBD indiquent l'environnement soutenant la règle). La description structurelle est comparée au nombre de formes qui sont correctement dérivées de la règle (le changement) (Albright & Hayes, 2002), par exemple, les adjectifs ayant une terminaison consonantique [t]. Pour un échantillon d'adjectifs fléchis au féminin ayant une terminaison [t], tels *petit/e* [pœti/t], *vert/e* [vɛʁ/t], *mort/e* [mɔʁ/t], une règle extraite de l'environnement prédisant la terminaison en [t] d'un des exemples ne permettrait pas d'en prédire une autre (cette règle comporte trois contextes d'application (ɛʁ, ɔʁ, ti)). La description est ainsi plus grande que l'étendue du changement. La fiabilité comme variable peut être incluse dans un modèle à deux voies où elle serait explicative du processus sous-jacent, ou même de la mémoire (déclarative ou procédurale) impliquée dans le traitement en question (Caramazza et al., 1988; Pinker & Prince, 1991). Les termes « transparence », « fiabilité » et « régularité » sont équivalents pour ce projet. Cependant, le terme « transparence » sera préféré.

Un modèle à deux voies où les opérations grammaticales régulières sont traitées par des opérations de la mémoire procédurale, et où les formes irrégulières sont lexicalisées par l'implication de la mémoire déclarative, tel que décrit dans le modèle DP de Ullman et Pinker (2002), sera adopté pour cette étude. En somme, les modèles génératifs et associatifs peuvent être réconciliés à l'aide d'un modèle à deux voies. Cette réconciliation est possible grâce aux

évidences neuroanatomiques soutenant la présence de deux systèmes mnésiques sous-jacents aux processus d'accord. Les règles d'accord des adjectifs en français comportent une faible transparence en ce qui concerne le choix de leur marqueur au féminin. Des règles génératives d'épenthèse ou d'élisions ne sont pas assez productives pour accorder efficacement les adjectifs en français; un recours à la mémoire lexicale est ainsi nécessaire pour leur traitement en production ou en compréhension.

## 1.7 Neuroimagerie

Les modèles théoriques en linguistique peuvent être étudiés à l'aide des tâches cognitives, tels des paradigmes d'erreurs d'accord, d'incongruence sémantique, ou d'amorçage<sup>5</sup>. Ces tâches sont aussi utilisées conjointement avec la neuro-imagerie. Les méthodes de neuro-imagerie sont divisées en deux familles distinctes : les méthodes d'imagerie anatomique et fonctionnelle. Les méthodes anatomiques permettent de s'intéresser à la structure et à la composition du cerveau. Ces méthodes incluent, mais ne sont pas limitées à, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et l'imagerie par diffusion de tenseur (IDT). Les méthodes d'imagerie fonctionnelle permettent elles d'étudier la réponse neuronale en réponse à un stimulus. Ces méthodes incluent l'électroencéphalographie (EEG), la magnétoencéphalographie (MEG), l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et l'imagerie par spectroscopie (NIRS). De plus, les méthodes se distinguent aussi selon les variables de résolution temporelle et spatiale. Par « résolution temporelle », nous nous intéressons à la précision de l'enregistrement dans l'axe du temps. Par exemple, l'IRMf a une faible résolution temporelle, puisque la réponse hémodynamique (*Blood Oxygenation Level Dependent, BOLD*) sous-jacente peut prendre jusqu'à 5 secondes avant d'être perçue par l'appareil, alors que l'EEG a une haute résolution temporelle, puisque l'appareil peut détecter des changements électriques de l'ordre de la milliseconde. La résolution spatiale nous permet de nous intéresser à la localisation spatiale de l'effet enregistré, communément appelé la *source* de l'effet. Par exemple, l'IRM anatomique nous permet d'étudier les structures neuronales à une échelle du millimètre, alors que la NIRS s'intéresse à une localisation dans l'ordre du

---

<sup>5</sup> L'amorçage est une méthode expérimentale où une amorce est présentée avant une cible. L'amorce peut être ou non liée à la cible. Par exemple, dans une tâche de *Stroop*, la couleur de la cible pourrait être présentée brièvement avant la cible de la tâche.

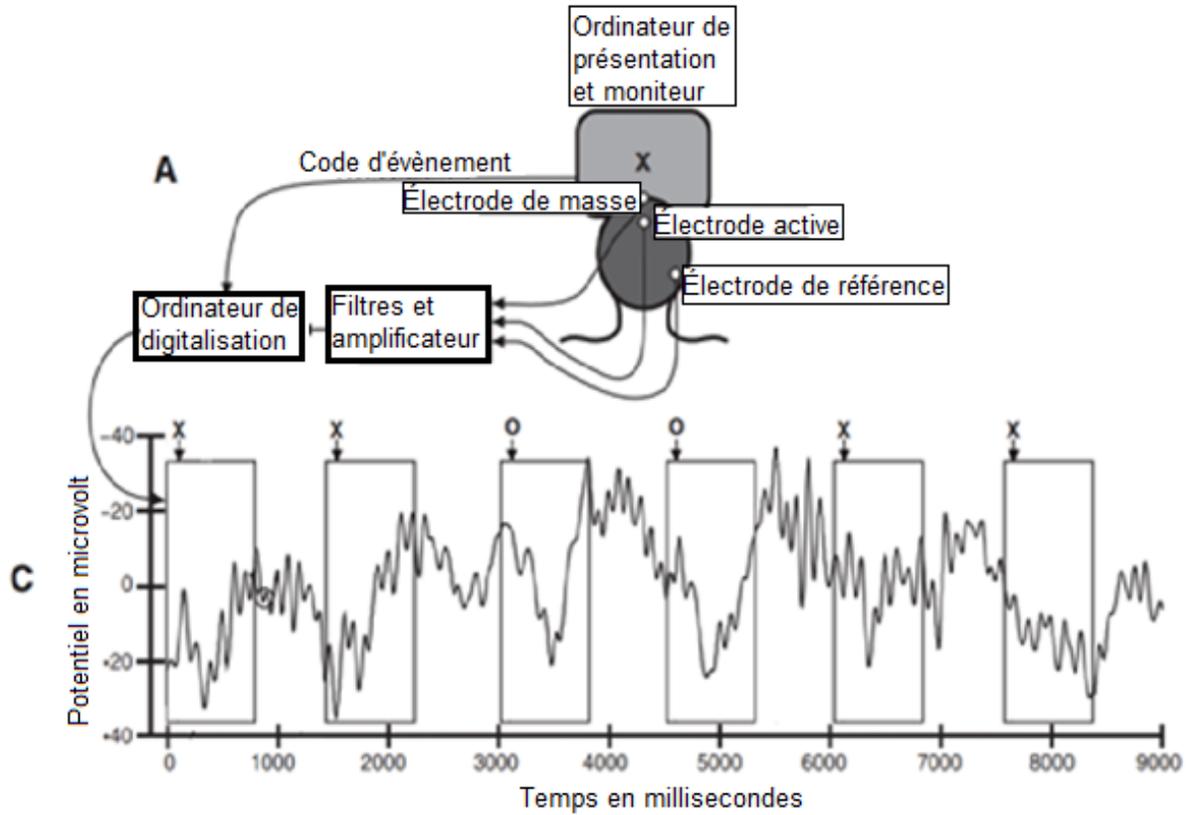
centimètre (Rodden & Stemmer, 2008). Dans cette étude, nous avons utilisé l'EEG, qui consiste à mesurer en temps réel les différences de potentiels électriques, positifs ou négatifs à l'aide d'électrodes placées sur le scalp. Les changements de potentiels se produisent à l'échelle des millisecondes et cette résolution temporelle permet l'étude du déroulement temporel du traitement du langage (Luck, 2014). Cette méthode ne permet pas une localisation de la source au niveau des substrats neuronaux, mais à la surface du scalp, à l'aide de la localisation des électrodes. L'interprétation de la distribution des effets sur les électrodes (section 1.9) n'est pas directement liée à l'activité neuronale, mais plutôt sur quelles électrodes se trouvent les effets.

## **1.8 Potentiels évoqués**

Les potentiels évoqués (PÉs) sont une méthode d'analyse des signaux continus récoltés par l'EEG qui consiste à extraire le signal sur une fenêtre de temps liée à la présentation d'un stimulus. Les enregistrements segmentés pour chaque condition sont ensuite moyennés dans cette fenêtre de temps pour en extraire des « composantes » (Figure 2). Les composantes sont définies par leur polarité, qui peut être positive ou négative, leur latence en temps, et leur topographie, soit la distribution des électrodes sur le scalp. Les composantes peuvent ensuite être comparées entre conditions expérimentales et contrôles pour isoler l'effet d'un traitement cognitif sur la réponse neuronale (Luck, 2014).

**Figure 2**

*Enregistrement et digitalisation du signal EEG*



Source : adapté de Luck (2014, p.7)

Dans l'étude du traitement langagier et pour les besoins de l'étude présente, trois composantes principales seront décrites :

(1) La N400 est une onde négative centropariétale survenant entre 300 et 500 ms après la présentation d'incongruences typiquement lexico-sémantiques (Luck, 2014). Par « erreurs lexico-sémantiques », nous faisons référence au sens ou au lexique, par exemple, dans la phrase « je mange mon pain avec du !ciment<sup>6</sup> », le mot « ciment » est sémantiquement inattendu (Kutas & Hillyard, 1983). Ce contexte n'est cependant pas le seul dans lequel une N400 peut être induite, ou modulée.

<sup>6</sup> Les mots soulignés sont les cibles sur lesquelles les analyses ont été faites

La N400 peut aussi être modulée par des mots reliés sémantiquement (p. ex. *friandise – sucre*, comparativement à *pneu – sucre*). Dans une tâche d’amorçage, une N400 sera induite pour chaque cible. La présentation d’une amorce sémantiquement liée à la cible réduira l’amplitude de la N400. Cette atténuation reflèterait une réduction de l’effort dans l’accès lexical lors du traitement de la cible, due à une préactivation du réseau lexico-sémantique de la cible (Bentin et al., 1985; Kutas & Federmeier, 2011). La N400 peut aussi être induite par des contextes d’appariement mot-image, comme dans Courteau et al. (2019), où l’amplitude de la N400 était plus grande lorsqu’une image représentant une action était accompagnée d’une phrase auditive décrivant une situation différente. Ces trois contextes d’apparition mènent à une ambiguïté face à l’interprétation de la N400, notamment due à son apparition dans des contextes grammaticaux (Courteau et al., 2019) et sémantiquement congruents (Kutas & Federmeier, 2011). Bien que la véritable signification de la N400 soit encore débattue, il est généralement accepté qu’elle caractérise, dans les conditions présentées précédemment, une forme d’accès lexical (Kutas & Federmeier, 2011).

(2) La P600 est une onde positive centropariétale qui apparaît à environ 600 ms suivant une anomalie syntaxique ou grammaticale (Luck, 2014). Cette composante est associée à la réparation et à l’intégration d’une erreur suivant le traitement sémantique ou syntaxique (Osterhout & Holcomb, 1992; Steinhauer & Connolly, 2008). Les P600 ont été trouvées suivant des erreurs grammaticales d’accord à l’écrit (Molinaro et al., 2011) et à l’oral (Royle et al., 2013). La P600 est généralement précédée d’une composante négative telle une N400 ou une négativité antérieure latéralisée à gauche (LAN), ce qui donne lieu à un profil biphasique (Hahne & Friederici, 1999) (Figure 3). Enfin, (3) la négativité antérieure latéralisée à gauche (LAN<sup>7</sup>) apparaît entre 300-500 ms après un désaccord syntaxique ou grammatical. Cette composante est généralement interprétée comme une détection automatisée d’une erreur grammatico-syntaxique (Steinhauer & Connolly, 2008) précédant la réanalyse de la phrase, reflétée par la P600. La LAN est topographiquement différente de la N400; la LAN induite à l’écrit est antérieure et focalisée dans les électrodes de l’hémisphère gauche et la LAN à l’oral est moins focalisée et plus distribuée,

---

<sup>7</sup> Les acronymes anglais LAN (*Left Anterior Negativity*) et AN (*Anterior Negativity*) seront préférés à des acronymes français tels NAG (*Négativité Antérieure latéralisée à Gauche*) ou NA (*Négativité Antérieure*)

alors que la N400 est postérieure et souvent distribuée sur plusieurs électrodes centrales et pariétales. De plus, les contextes d'apparition de la N400 et de la LAN diffèrent, notamment, la N400 est induite par des contextes lexico-sémantiques, comme des incongruences de sens, alors que la LAN est présente généralement lors d'incongruences syntaxiques ou grammaticales. Ces différences nous permettent d'interpréter ces deux composantes comme reflétant des processus neurocognitifs différents.

### Figure 3

*Onde biphase LAN-P600 suivant une erreur d'accord en genre à l'oral en français où l'onde illustrée en vert représente la condition correcte et l'onde illustrée en rouge représente une erreur d'accord en genre*



Source : Royle et al. (2013)

## 1.9 Potentiels évoqués dans le traitement de l'accord

L'onde biphase LAN-P600 décrite à la section précédente a été étudiée exhaustivement avec des protocoles d'incongruence grammaticale, par exemple, entre les éléments du syntagme nominal en français. Une revue de littérature par Molinaro et al. (2011) a été faite pour différents types d'accord grammatical en modalité écrite chez des participants adultes. Si l'on s'intéresse à l'accord en genre entre le déterminant et le nom, les auteurs ont trouvé au moins 6 études dans quatre langues différentes et 67% d'entre elles rapportaient une LAN et toutes ont trouvé une

P600. Quatre études ont été relevées pour l'accord nom-adjectif et elles ont toutes rapporté une onde biphasique LAN-P600. De plus, des études utilisant des incongruences en genre, mais en modalité auditive ont rapporté des résultats similaires. Cependant, on retrouve des différences entre les réponses évoquées par la modalité auditive comparativement à l'écrit. Entre autres, la LAN auditive est généralement moins focalisée et de plus longue latence (plus de 500 ms) (Gascon et al., 2011; Hahne et al., 2004; Hasting & Kotz, 2008; Isel & Kail, 2018; Molinaro et al., 2011; Popov, 2022; Royle et al., 2013).

Royle et al. (2013) se sont intéressés à l'accord en genre entre le nom et l'adjectif en modalité auditive. En utilisant des incongruences de genre, par exemple *Je vois la chaise \*vert sur la table*, ils ont trouvé une onde biphasique LAN-P600. Gascon et al. (2011) ont trouvé une négativité antérieure (AN) suivie d'une P600 suite à des erreurs d'accord en genre entre le nom et le déterminant pour des phrases telles *Je vois \*le chaise verte sur la table*. Cette négativité a été interprétée comme une AN et non comme une LAN, car la distribution de l'effet était localisée aux électrodes centrales et était bilatérale. Un profil biphasique composé d'une négativité antérieure suivie d'une P600 a aussi été observé en modalité auditive en français pour des erreurs d'accord déterminant-nom par Isel et Kail (2018). Les résultats de ces trois études semblent appuyer l'hypothèse que le traitement de l'accord semble s'opérer de façon différente pour les adjectifs et des déterminants en français, car les LAN et les AN trouvées sont qualitativement différentes, possiblement dû aux différences de transparence dans leur accord. Des données similaires ont aussi été trouvées dans d'autres langues. Par exemple, Caffarra et al. (2014) ont trouvé des différences qualitatives liées à la transparence en espagnol. Ils ont contrasté des noms contenant une terminaison qui marque le genre grammatical de façon transparente, [o] pour masculin et [a] pour féminin (p. ex. *el queso*, 'le fromage', *la playa*, 'la plage') et des noms à terminaison opaque (p. ex. *el reloj*, 'l'horloge', *la flor*, 'la fleur'). Ils se sont intéressés aux négativités suivant des erreurs d'accord déterminant-nom (p. ex. *\*la queso*, '\*la fromage'). Ils ont observé que les noms transparents induisaient de plus grandes négativités que les noms opaques. Ils ne se prononcent pas sur la nature de la négativité, mais l'inspection visuelle indique qu'il est probable qu'il s'agisse d'une négativité antérieure (AN), car la distribution de l'effet est localisée aux électrodes frontales et est bilatérale. Les résultats de Caffarra et al. (2014) appuient le fait

que des différences de transparence peuvent être reflétées sur les réponses électrophysiologiques. Ces résultats peuvent être appuyés en comparant la négativité frontale et bilatérale induite par les désaccords sur les déterminants dans Gascon et al. (2011), et la LAN induite par les désaccords sur les adjectifs dans Royle et al. (2013). Les différences de transparence entre les adjectifs et les déterminants permettraient potentiellement d'expliquer les différences de distributions trouvées sur les négativités induites.

En somme, des LAN-P600 sont généralement induites par des erreurs grammaticales de l'accord en genre en français, tel que résumé dans le Tableau 1. Des patrons différents sont présents entre les erreurs sur l'adjectif et le déterminant, et un effet de transparence sur les négativités a été trouvé dans d'autres langues. Les différentes réponses trouvées pour les adjectifs et les déterminants en français pourraient être interprétées comme reflétant l'effet de la transparence sur l'accord. Les résultats des enfants présentés dans la section suivante permettront d'enrichir cette hypothèse.

**Tableau 1**

*Exemples d'études de PÉS qui ont étudié les incongruences en genre*

Auteurs	Langue	Structure	Accord	Exemple	Résultats
Molinaro et al. (2011)	NA	Det-Nom	Genre	Études multiples	67% LAN, 100% P600
Molinaro et al. (2011)	NA	Nom-Adj	Genre	Études multiples	100% LAN, 25% N400, 75% P600
Gascon et al. (2011)	Français	Det-Nom	Genre	Je vois * <u>la</u> chapeau <u>gris</u> dans la boîte	AN-P600
Royle et al. (2013)	Français	Nom-Adj	Genre	Je vois la chaise * <u>vert</u> sur la table	LAN-P600
Caffara et al. (2014)	Espagnol	Det-Nom	Genre	* <u>la</u> queso 'la fromage'	AN
Isel et Kail (2018)	Français	Det-Nom	Genre	Chaque semaine, le * <u>voisine</u> remplira le frigo [...]	AN-P600

## 1.10 Traitement de l'accord à l'enfance

Deux principes clefs de la grammaire doivent être acquis par l'enfant afin de maîtriser l'accord, il doit 1) apprendre le concept de genre grammatical et 2) apprendre comment est marqué l'accord en genre dans sa langue (Fink, 1985). Ce deuxième point varie en complexité dépendamment de

différents facteurs, telle la catégorie lexicale (verbes, adjectifs, etc.), la régularité des marqueurs d'accord, et le nombre d'affixes marquant l'accord pour une partie du discours donné. En français, tel que présenté précédemment, la manifestation orale de l'accord en genre dépend de la catégorie grammaticale. Pour le déterminant, l'alternance entre *le*, *la*, *mon*, *ma* est prévisible et fiable, car les déterminants singuliers définis portent la même alternance comme marque du féminin. En contrepartie, les adjectifs postnominiaux ont une marque irrégulière nulle, consonantique ou dérivationnelle. L'alternance présente sur les déterminants définis n'est cependant pas aussi prévisible pour tous les déterminants, tels les indéfinis (p. ex. *un*, *une* ([ỹ]/[yn]) et les démonstratifs (p. ex. *ce*, *cet*, *cette* [sœ]/ [set]/ [set]).

Cette différence aura des impacts sur la maturation de l'accord de ces deux catégories grammaticales. L'acquisition de l'accord du déterminant défini se fera plus rapidement que pour les adjectifs. L'apparition de la production de l'accord se manifeste avant l'âge de deux ans. À cet âge, l'enfant accorde déjà les articles avec leurs noms respectifs (Karmiloff-Smith, 1981; Valois et al., 2009; Valois & Royle, 2009). L'accord entre le déterminant et son nom en français est présent dès le début de la production et sera produit sans erreurs dès 4 ans (Royle & Valois, 2010; Valois et al., 2009). En contraste, l'accord de l'adjectif, spécifiquement des adjectifs de couleur, n'atteindra pas un taux de succès supérieur à 80% en production avant l'âge de 6 ans (Roulet-Amiot & Jakubowicz, 2006; Royle & Valois, 2010). On pourrait arguer contre la maîtrise de l'accord déterminant-nom en bas âge, en faveur d'une lexicalisation des noms incluant l'article (p. ex. *le+soleil* serait interprété par l'enfant comme *lesoleil* [lœsolej]). Cet argument ne tient cependant pas compte de la systématisme dans la production des déterminants à cet âge et du fait que les erreurs d'omission semblent être régies par des règles phonologiques, en plus de l'utilisation des autres déterminants (Demuth & Tremblay, 2008; Royle & Valois, 2010).

Le modèle à deux voies de traitement morphologique présenté précédemment permet de donner une explication potentielle de la latence entre la maturation de l'accord du déterminant et de l'adjectif : la maturation pourrait être liée à l'extraction des règles morphophonologiques et la facilité de cette extraction expliquerait le rythme de maturation des processus grammaticaux. La prévisibilité d'une règle et sa fréquence sont des variables importantes pour la facilité de son extraction. Un exemple de règle liée au genre grammatical qui sera acquise tôt chez l'enfant est

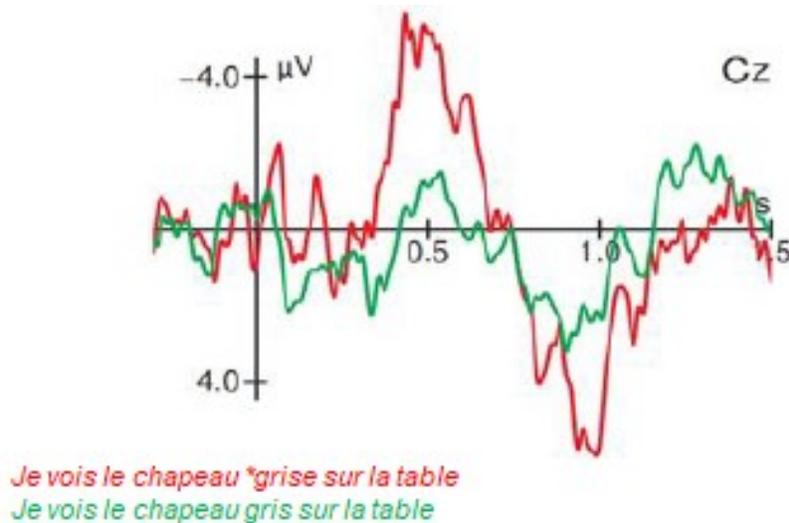
l'utilisation du contexte phonologique pour déduire le genre grammatical. Par exemple, Seigneuric et al., (2007) se sont intéressés à l'association entre les terminaisons des noms à l'écrit et au genre grammatical. En utilisant de néologismes avec des terminaisons 1) typiquement féminines (-ine, -ette) 2) typiquement masculines (-on, -eau) et 3) neutres (-iste, -ale, -ige), ils ont trouvé que les enfants dès 6 ans arrivaient à déduire le genre des néologismes à partir des terminaisons féminines et masculines. Les néologismes avec des terminaisons neutres n'étaient pas correctement genrés par les participants, même à 9 ans, soutenant qu'un environnement opaque empêche l'extraction de règles et que les lexèmes ayant ces terminaisons ambiguës devront être traités lexicalement. La même logique peut être appliquée à l'accord en genre de l'adjectif, où ni des règles  $\emptyset/C$  (2) ni celles  $C/\emptyset$  (3) ne peuvent être extraites du corpus, ce qui impose un traitement lexicalisé.

Ce traitement lexicalisé est observable à l'aide des méthodes de neuro-imagerie et des protocoles de violations grammaticales. Tel que présenté dans la section *potentiels évoqués*, les composantes des potentiels évoqués ont un patron d'activation distinct entre le traitement lexico-sémantique et morphosyntaxique. Ainsi, nous prédisons que si le traitement grammatical est lexicalisé, une N400 devrait être présente à la suite d'erreurs d'accord, plutôt que le profil LAN-P600 et AN/P600 habituel, car les N400 sont généralement associée au traitement lexical. C'est ce que Courteau et al. (2015) ont trouvé, à l'aide du protocole d'incongruence d'accord en genre en français présenté précédemment (Royle et al., 2013). Ils ont trouvé que chez des enfants de 4 à 8 ans, des erreurs d'accord sur l'adjectif induisaient des N400 distribuées sans positivité tardive (Figure 4) et les erreurs sur les déterminants induisaient des positivités tardives sans négativité précédente. Clahsen et al. (2007) ont trouvé que la surgénéralisation de règles productives à des noms irréguliers avec le -s pluriel en allemand (*Ein Vertreter besucht die grossen \*Apotheken in unserer Stadt* 'Un vendeur visite les grandes \*pharmacies dans notre ville') induisait une N400 sans P600 chez des enfants avant l'âge de 8 ans, alors qu'une onde biphasique AN-P600 est induite chez les adultes. La réponse n'était pas biphasique avant l'âge de 10 ans. À partir de ces deux articles, on pourrait stipuler que le traitement de l'accord n'est pas mature avant l'âge de 10 ans. La N400 trouvée pour des erreurs grammaticales offre aussi un appui pour la lexicalisation comme mode initial de traitement grammatical décrit dans la section *traitement*

*grammatical*, qui évoluera vers le schème mature des adultes avec l'âge. Par exemple, si les adultes montrent une LAN, la réponse des adolescents devra passer d'une N400 à une LAN. Nous prédisons que ce changement de paradigme est graduel, il sera reflété par une latéralisation et une antériorisation de la négativité, tel que présenté dans la Figure 5.

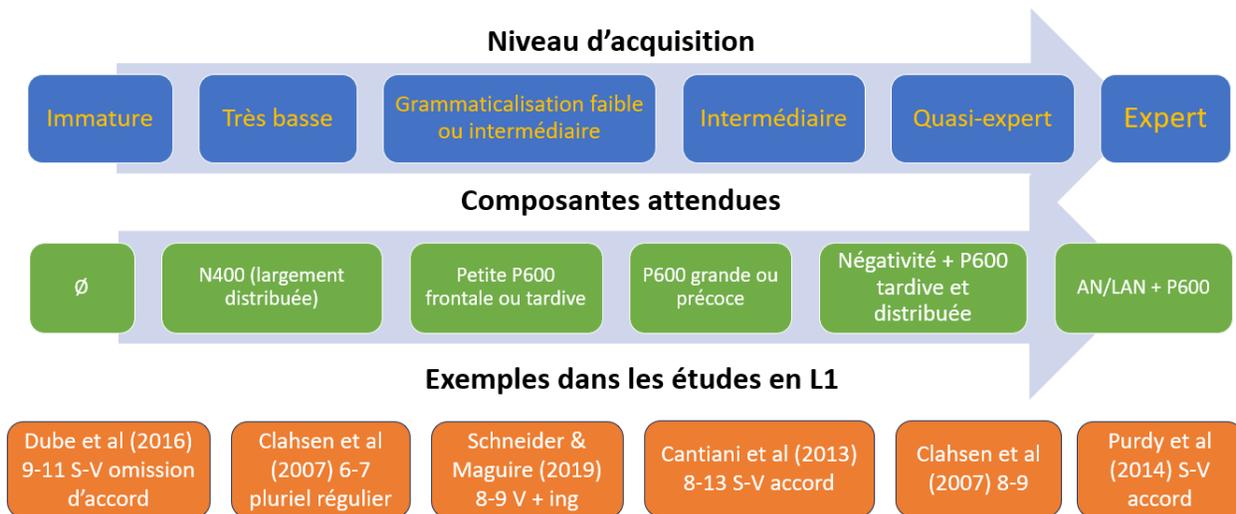
**Figure 4**

*Onde N400 suivant une erreur d'accord en genre à l'oral en français où l'onde illustrée en vert représente la condition correcte et l'onde illustrée en rouge représente une erreur d'accord en genre. Source : Courteau et al., (2015)*



Évolution des réponses de potentiels évoqués avec le niveau de maîtrise de la grammaire, pour les locuteurs langue première et seconde. Source : Royle et al., (2023), adapté de Courteau (2021), thèse de doctorat non-publiée

Figure 5



## 1.11 Traitement de l'accord à l'adolescence

Moins d'études se sont intéressées aux capacités langagières des (pré)adolescents au-delà de l'âge de 10 ans, et encore moins d'études ont étudié le traitement grammatical pour cette période développementale. Quelques études ont trouvé que le traitement grammatical à l'adolescence est relativement mature. Dans leur étude de surgénéralisation, Clahsen et al. (2007) ont trouvé que leur groupe d'enfants de 11-12 ans présentait une négativité antérieure suivie d'une P600 lorsqu'ils lisaient une surgénéralisation de l'accord au pluriel en allemand. Il s'agit d'un patron d'activation similaire à celui des adultes, malgré des différences de latences. Atchley et al. (2006) ont trouvé que des erreurs d'accord entre le sujet et le verbe à l'écrit en anglais (p. ex. *Where \*do a boy<sup>8</sup> like to play?* 'Où \*est-ce qu'un garçon aime jouer?') induisaient chez des enfants de 9 à 13 ans une P600 comparable à celle de leur groupe d'adultes. Cette étude ne rapporte pas d'analyse entre 300 et 500 ms, mais une négativité aux électrodes Pz et CPz est visible sur leurs

<sup>8</sup> La perception de l'erreur n'était pas possible avant la présentation du verbe *like* nuisant à la validité des interprétations de cette étude.

figures. Si cette fenêtre de temps avait été analysée, la négativité trouvée aurait probablement été similaire à une N400, mais cette interprétation reste spéculative. Weber-Fox et al. (2010) se sont aussi intéressés aux erreurs d'accord sujet-verbe en anglais à l'oral (p. ex. *Everyday, the children \*pretends to be super-heroes* 'Chaque jour, les enfants \*prétend être des super-héros'). Ils ont trouvé une AN suivie d'une P600 pour leur groupe d'adolescents de 14-18 ans. Ce patron est similaire au schème qu'ils ont trouvé pour les adultes. Cantiani et al. (2015) se sont intéressés à des enfants âgés de 8 et 13 ans. Ils ont trouvé que des erreurs d'accord sujet-verbe en italien (p. ex. *la bambina bionda \*giocano con la palla* 'L'enfant blond \*jouent avec la balle') induisaient uniquement des P600. Aucune négativité significative entre 250 et 550 ms n'a été trouvée pour leur groupe d'enfants neurotypiques. Cantiani et al. (2015) ont aussi étudié des enfants ayant des troubles de dyslexie-dysorthographe. Les erreurs d'accord ont induit pour ce groupe des N400-P600, soutenant que des erreurs d'accord peuvent induire des N400 plutôt que des LAN chez une population atypique. Si ces études montrent que le traitement grammatical chez les adolescents typiques de plus de 10 ans semble être mature, il est important de se rappeler que le traitement des formes irrégulières et régulières ne mature pas au même rythme, et que les études rapportées s'intéressent majoritairement à des règles grammaticales transparentes. D'autres études montrent que le traitement grammatical pourrait ne pas être mature à l'adolescence. Par exemple, Meier (2008) a trouvé que des erreurs d'accord en nombre sujet-verbe en anglais induisaient chez des adolescents de 14 à 18 ans une onde biphasique N400-P600. Ces résultats surprenants pourraient indiquer que la compréhension sous-jacente de l'accord, dans ce cas-ci du nombre du verbe, est encore en consolidation à cet âge. De plus, ces résultats appuient l'idée de la lexicalisation comme mode par défaut du développement grammatical par la présence d'une N400 comme marqueur d'immatrité<sup>9</sup>.

Les trois études suivantes ont utilisé un protocole de production silencieuse similaire pour évaluer l'évolution du traitement morphologique entre l'enfance, l'adolescence et l'âge adulte. En manipulant la variable de transparence, ces études montrent ses effets sur le développement. Ces trois études ont comparé directement les réponses induites par la production transparente à

---

<sup>9</sup> Ceci n'explique cependant pas les N400 pour la grammaire ou la syntaxe trouvées chez les adultes. Une description plus approfondie de ce phénomène sera présentée dans le chapitre 4

la production opaque; la présentation des PÉs sera ainsi légèrement différente de celle faite jusqu'à maintenant.

Budd et al. (2013) ont demandé à leurs participants de produire silencieusement le passé de verbes en anglais à partir de formes infinitives. Ils ont contrasté la production de verbes réguliers (p. ex. *walk-walked* 'marcher-marchait') et irréguliers (*hold-held* 'tenir-tenait'). Ils ont trouvé que la production des verbes réguliers par les adultes induisait une négativité plus prononcée que les verbes irréguliers entre 300 et 450 ms. Cette négativité était aussi présente chez les adolescents âgés de 10 à 12 ans. Ils ont aussi trouvé que la négativité des adolescents était plus grande dans les régions frontales de l'hémisphère droit et que sa latence était plus longue, allant jusqu'à 550 ms. Finalement, ils n'ont pas trouvé de différences entre les verbes réguliers et irréguliers pour les plus jeunes enfants âgés de 7 à 9 ans. Ces données soutiennent qu'une maturation de la grammaire est présente dans le passage de l'adolescence à l'âge adulte.

Ensuite, Budd et al. (2015) ont demandé à leurs participants de produire silencieusement des mots composés en anglais. Les participants devaient composer ces mots à partir d'un radical nominal et un radical verbal à l'infinitif présentés sur un écran (p. ex. former *man biter* 'mordeur d'homme' à partir des radicaux *man* 'homme' et *bite* 'mordre'). Leur condition contrastait les radicaux nominaux réguliers (*boy/boys* 'garçon/garçons') et irréguliers (*tooth/teeth* 'dent/dents') accordées au pluriel. Ils ont trouvé que les enfants de 8 à 12 ans et les adultes montraient une amplification de la négativité pour la production des irréguliers, comparativement aux réguliers. Cependant, les marqueurs neurophysiologiques des enfants et des adultes différaient. La négativité trouvée en comparant la production des réguliers et les irréguliers était plus tardive et avait une topographie largement distribuée chez les enfants comparativement à celle des adultes. Jessen et al. (2017) ont aussi utilisé un protocole de productions silencieuses de verbes réguliers et irréguliers au présent et de participes passés en allemand. Leurs résultats montrent que la production a induit une négativité antérieure (AN) non-latéralisée chez les adultes qui était plus importante lors de la production de verbes réguliers. De plus, ils ont trouvé que la négativité des enfants de 8 à 12 ans était plus postérieure comparativement à celle des adultes, lui donnant une topographie similaire à une N400. La latence de la négativité était tardive (800-1000 ms) pour les enfants de 8 à 10 ans, alors que celle des adolescents de 11-13 ans était similaire à celle des

adultes (300-500 ms). Ces résultats renforcent la notion que l'accord régulier est traité différemment de l'accord irrégulier et que des différences développementales sont présentes pour le traitement de la grammaire dans le passage de l'enfance à l'adolescence.

## **1.12 La présente étude**

L'objectif de notre recherche est d'étudier le traitement grammatical chez l'adolescent de 10 à 15 ans et chez l'adulte en mesurant les changements de potentiels électriques au niveau du scalp à l'aide de l'EEG. La présente recherche tente de répondre aux deux questions suivantes : (1) le traitement grammatical en genre de l'adjectif s'opère-t-il différemment de celui des déterminants chez les adolescents et les adultes francophones ? (2) Le traitement de l'accord de l'adjectif et du déterminant sont-ils matures à l'adolescence?

### **1.12.1 Hypothèses**

Adultes : Suivant les résultats de Gascon et al. (2011) et de Royle et al. (2013), une LAN-P600 est prédite pour les erreurs d'accord sur l'adjectif et une AN-P600, est prédite pour les erreurs d'accord sur les déterminants.

Adolescents : La transparence de l'alternance vocalique de l'accord en genre du déterminant nous porte à postuler un traitement mature des erreurs d'accord sur le déterminant à l'adolescence, qui sera caractérisé par une AN-P600 similaire à celle des adultes. Les données précédentes dans d'autres langues semblent suggérer que le traitement grammatical n'est pas toujours mature à l'adolescence, caractérisé par des négativités variables, souvent des N400, suivies par des P600 (Cantiani et al., 2008; Meier, 2008; Weber-Fox et al., 2010). De plus, la faible transparence de l'accord en genre de l'adjectif en français oral nous mène à prédire un délai supplémentaire dans la maturation de la grammaire. Cette immaturité sera caractérisée par un accès lexical lors du traitement de la grammaire. Ainsi, nous prédisons que les erreurs d'accord entre l'adjectif le nom induiront chez les adolescents une N400-P600.

## Chapitre 2 – Matériel et méthodes

### 2.1 Participants

Pour ce projet, 29 adultes neurotypiques âgés de 19 à 40 ans (moyenne 25,6 ans) et 26 (pré)adolescents âgés de 9;11 à 15;6 (moyenne 12;2 ans) ans ont participé à l'expérience. Les données démographiques des participants adultes et adolescents et les données des tâches psycholinguistiques administrées sont présentées dans le Tableau 2. Les données ont été récoltées dans le cadre d'un projet sur le traitement syntaxique et sémantique des adolescents ayant un trouble développemental du langage. Les données des adolescents à développement typique sont présentées dans cette étude. Le protocole expérimental a été accepté par le comité d'éthique de la recherche en éducation et en psychologie de l'Université de Montréal (CERP-22-077-D). Les participants adultes, les gardiens légaux des participants adolescents et les participants adolescents ont consenti au projet avant la séance de participation. Tous les participants avaient une dominance manuelle droite, telle qu'évaluée par le questionnaire de Oldfield (Oldfield, 1971; Fromont et al., 2021), avaient une vision normale ou corrigée à la normale, et étaient des locuteurs natifs du français. Les participants ont été contrôlés pour l'absence de problèmes neurologiques et de troubles du langage. La mémoire de travail, l'empan phonologique et la mémoire verbale ont été mesurés sur place à la fin de la séance de participation. Un dépistage audiolgique (30 dB à 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz dans les deux oreilles) a été effectué pour vérifier l'absence de trouble d'audition. Les participants adultes ont été recrutés à partir d'une population universitaire de la ville de Montréal et les participants adolescents ont été recrutés dans la population générale. Tous les participants ont reçu une compensation financière de 15\$ pour chaque heure de participation. Chaque participation avait une durée d'environ 1h30.

**Tableau 2**

*Données démographiques moyennes des participants (écart-type entre parenthèses)*

	Adultes (n=29)	Adolescents (n=26)
Âge	25,6 (4,7)	12,2 (1,4)
RPh	-	65,9 (7,6)
RN-D	11,1 (1,7)	9,1 (1,5)
RN-I	7,1 (2,1)	9,7 (4,2)
Courcy	-	275,5 (3,3)

*Notes : RPh = Répétition de phrases (CELF-5-CDN-F), RN-D = test de répétition de nombres (Arslan et al., 2020), RN-I = test de répétition de nombres - ordre inversé (Arslan et al., 2020, Courcy = test de répétition de non-mots (Elin Thordardottir et al., 2011)*

## 2.2 Design

Le design de l'expérience est une matrice 2x2; deux conditions expérimentales (déterminants et adjectifs) et leur analogue contrôle (correcte et incorrecte). L'expérience était construite de 192 phrases (48 conditions d'erreurs lexico-sémantiques étaient incluses dans le design, mais ne seront pas présentées dans cette étude). Le design était composé de 96 phrases grammaticales. Pour chaque phrase grammaticale, une condition erronée a été construite (voir la section 2.3 pour les spécificités des conditions erronées), pour un total de 96 phrases erronées. Les phrases erronées étaient divisées en deux conditions : les erreurs sur les déterminants et les erreurs sur les adjectifs. Les 48 phrases de la condition déterminant étaient grammaticales et étaient appariées à leurs 48 analogues erronés (p. ex. la paire grammaticale *le chapeau* avait comme analogue erroné *\*la chapeau*). Les 48 phrases grammaticales de cette condition ont été construites à l'aide des adjectifs invariables (pour la liste des adjectifs et des noms, voir Annexe 2 (p. 103)). En utilisant des adjectifs différents pour la condition des désaccords sur les déterminants, nous pouvons éviter d'avoir des phrases en double comme condition contrôle dans le design. La moitié (24) des phrases de la condition grammaticale était masculine (6 noms masculins x 4 adjectifs) et les autres (24) étaient féminines. La moitié des phrases erronées (24) étaient composées des adjectifs variables. La moitié des énoncés (12) étaient féminin et les autres

(12) masculins. Les 24 autres phrases ont été construites à l'aide des adjectifs invariables<sup>10</sup>, où la moitié (12) étaient masculin et les autres (12) féminins. Les 48 phrases de la condition des adjectifs étaient grammaticales et étaient appariées à leurs 48 versions erronées (p. ex. la paire grammaticale *soulier gris* avait comme analogue erroné *soulier \*grise*). Pour les deux conditions, tous les adjectifs étaient variables (pour permettre une perception audible de l'erreur). La moitié des adjectifs de chaque condition (24) étaient masculins et les autres (24) féminins. Le Tableau 3 résume les différentes conditions pour les adjectifs et les déterminants.

## 2.3 Conditions

Les conditions erronées ont été construites en créant un désaccord entre le genre grammatical du tête nominal et l'adjectif (*je vois le soulier \*grise...*) ou le déterminant (*je vois \*la soulier gris*). Ces conditions ont été construites en repiquant un adjectif ou un déterminant masculin avec un sujet nominal féminin ou l'inverse. Toutes les conditions n'avaient qu'une seule erreur d'accord.

---

<sup>10</sup> Les adjectifs invariables ont été choisis pour la condition d'erreurs sémantiques qui n'est pas analysée dans ce rapport

**Tableau 3**

*Condition correctes et incorrectes pour les adjectifs et les déterminants*

Condition	Correcte	Incorrecte
Adjectif 96 phrases	48 énoncés avec adjectifs variables 24 énoncés avec adjectifs féminins <i>Je vois la chaise verte dans la boîte</i> 24 énoncés avec adjectifs masculins <i>Je vois le soulier vert sur la table</i>	48 énoncés avec adjectifs variables 24 énoncés avec adjectifs féminins <i>Je vois la chaise *vert dans la boîte</i> 24 énoncés avec adjectifs masculins <i>Je vois le soulier *verte sur la table</i>
Déterminant 96 phrases		24 énoncés avec adjectifs variables 12 énoncés avec adjectifs féminins <i>Je vois *le chaise brune sur la table</i> 12 énoncés avec adjectifs masculins <i>Je vois *la soulier brun dans la boîte</i>
	48 énoncés avec adjectifs invariables 24 énoncés avec adjectifs féminins <i>Je vois la chaise bleue sur la table</i> 24 énoncés avec adjectifs masculins <i>Je vois le soulier bleu sur la table</i>	24 énoncés avec adjectifs invariables 12 énoncés avec adjectifs féminins <i>Je vois *le chaise bleue sur la table</i> 12 énoncés avec adjectifs masculins <i>Je vois *la soulier bleu sur la table</i>
Total : 192 phrases	96 phrases	96 phrases

## 2.4 Matériel

Le matériel était composé de phrases grammaticales et agrammaticales construites à partir de 12 noms et de 8 adjectifs de couleur acquis avant l'âge de trois ans. L'âge d'émergence a été vérifiée à l'aide des normes issues de l'adaptation française du *MacArthur communicative development inventory* (1999). Les contraintes de fréquence d'occurrence orale et écrite ont été prises en compte lors du choix des stimuli à l'aide des bases de données Manulex (Lété, Sprenger-Charolles,

& Colé, 2004), Novlex (Lambert & Chesnet, 2001) et Lexique 3 (New et al., 2001). La longueur des items en nombre de phonèmes et en nombre de syllabes a aussi été contrôlée. Ces données sont décrites dans le Tableau 4. Aucune différence significative n'est présente entre les adjectifs variables et invariables et entre les noms féminins et masculins. Tous les noms commençaient par une consonne sourde, pour éviter les effets d'élosion de la voyelle du déterminant précédent les noms et de co-articulation et le prévoisement des consonnes voisées. Les noms étaient féminins (6) (p. ex. *fourchette* [fuʁʃɛt]) ou masculins (6) (p. ex. *chapeau* [ʃapo]). La moitié des adjectifs (4) étaient invariables (p. ex. *rouge* [ʁuʒ]) et les quatre autres possédaient une consonne audible comme marque du féminin (p. ex. *verte* [vɛʁt]).

**Tableau 4**

*Propriétés des stimuli des noms et des adjectifs : moyennes et écart-type (entre parenthèses)*

	Adjectifs			Noms		
	Variable	Invariable	T-test	Féminin	Masculin	Test-T
Âge d'acq	26,33 (1,53)	23,75 (2,50)	> 0,05	22,83 (2,48)	20,50 (2,95)	> ,05
Phon	3 (0)	3,25 (0,50)	> 0,05	4,16 (1,33)	4,50 (0,84)	> ,05
Syll	1 (0)	1 (0)	-	1,50 (0,55)	1,83 (0,41)	> ,05
FréqLex	27,35 (25,37)	49,66 (31,19)	0,08	23,76 (24,50)	60,20 (93,04)	> ,05
FréqLemm	84,86 (52,25)	61,50 (53,35)	0,06	35,07 (42,80)	69,48 (96,02)	> ,05

*Notes : Âge d'acq = âge d'acquisition en mois, Phon = longueur en phonèmes, Syll = longueur en syllabes, FréqLex = Fréquence lexicale orale (fréquence dans les films) (New et al., 2001), FréqLemm = Fréquence orale des lemmes (fréquence dans les films) (New et al., 2001). Données tirées de Royle et al. (2013)*

Les stimuli ont été enregistrés par une actrice franco-canadienne québécoise professionnelle. Les stimuli ont été enregistrés à une fréquence de 44.1 kHz à l'aide d'un enregistreur Sony DAT (*PCM-MI recorder*, 1997). L'actrice a lu les phrases naturellement, mais lentement en prononçant chaque item, pour éviter les effets de coarticulation entre les mots. Les items ont été prononcés dans un français standard, en évitant les prononciations dialectales. Toutes les conditions ont été enregistrées pendant la même séance. Seules les conditions grammaticales ont été enregistrées, pour éviter les indices intonatoires ou tout autre indice pouvant se produire lors de la production consciente d'un énoncé erroné. Pour diminuer les modifications post-enregistrement superflues, l'intensité de la voix de l'actrice ont été maintenus à 65dB +5dB. Les phrases ont été repiquées

et normalisées à l'aide des programmes *Cool Edit* (Syntrillium Software, Phoenix, AZ) et *Praat* (Boersma & Weenink, 2017). Repiquer (splicing) est une méthode d'édition des fichiers audio dans laquelle une partie du fichier est extraite (coupée) et intégrée à un autre fichier. Les phrases grammaticales contenant une erreur ont été construites en repiquant les phrases originales (1) en coupant le début des noms, adjectifs et verbes, tel qu'illustré en (1). Toutes les phrases commençaient par le syntagme *je vois* suivi par le déterminant défini *le/la*, le nom et l'adjectif masculin ou féminin. Toutes les phrases étaient closes par le syntagme prépositionnel *sur la table* ou *dans la boîte* pour éviter les effets de clôture de phrase sur les PÉs. La durée moyenne de chaque phrase était de 3305 millisecondes.

(1) Je vois | la | chaise | verte | sur la table

## 2.5 Listes

Deux listes ont été construites en pseudorandomisant l'ordre de présentation des 240 phrases (192 pour l'étude présentée et 48 pour la condition lexical-sémantique) en tenant compte des critères suivants : (1) Un item correct présenté dans la première moitié de la liste ne sera pas accompagné de son analogue erroné dans la même moitié. (2) Pas plus de trois phrases (a)grammaticales ont été présentées en séquence, (3) deux phrases contenant le même nom n'étaient pas présentées en séquence, (3) pas plus de trois phrases ayant le même type d'adjectif (variable ou invariable) étaient présentées en séquence et (4) pas plus de trois phrases contenant le même adjectif étaient présentées en séquence. Hormis les différences d'ordre de présentation entre les listes, chaque liste contenait des adjectifs différents pour la condition des déterminants incorrects invariables. La liste 1 contenait les adjectifs invariables *bleu* et *rouge* et la liste 2 contenait les adjectifs *jaune* et *noir*. Une seconde version de chaque liste a été construite en inversant l'ordre de présentation des 240 phrases, pour un total de 4 listes.

## 2.6 Contexte

Le design de l'étude est fondé sur Royle et al. (2013) Courteau et al. (2015). L'expérience est présentée aux participants dans le contexte d'une histoire d'un extraterrestre apprenant où Zilda

l'extraterrestre prépare une visite au Québec (Figure 6). Des extraits de l'histoire étaient présentés entre les listes de stimuli, pour maintenir l'attention des participants.

**Figure 6**

*Exemple d'illustration de Zilda l'extraterrestre utilisée dans le paradigme*



**2.7 Procédure**

L'expérience s'est déroulée dans les locaux de l'École d'orthophonie et d'audiologie de l'Université de Montréal. Le formulaire de consentement a été présenté et signé sur place par les participants adultes. Les participants adolescents et leur tuteur ont signé le formulaire avant de débiter l'expérience, virtuellement ou sur place. Le consentement du tuteur était requis avant l'expérience pour les participants de moins de 15 ans. Les participants de 15 et plus pouvaient consentir à l'expérience sans un tuteur. Les participants ont rempli un questionnaire de dominance manuelle en français adapté et traduit d'Oldfield (1971) (Fromont et al., 2021). Les participants ont procédé à 2 séances de cueillette de données qui comprenaient deux expériences suivant le même protocole. La première traitait de la syntaxe des adjectifs et la seconde portait sur l'accord grammatical. Seuls les résultats de la seconde expérience sont présentés dans ce

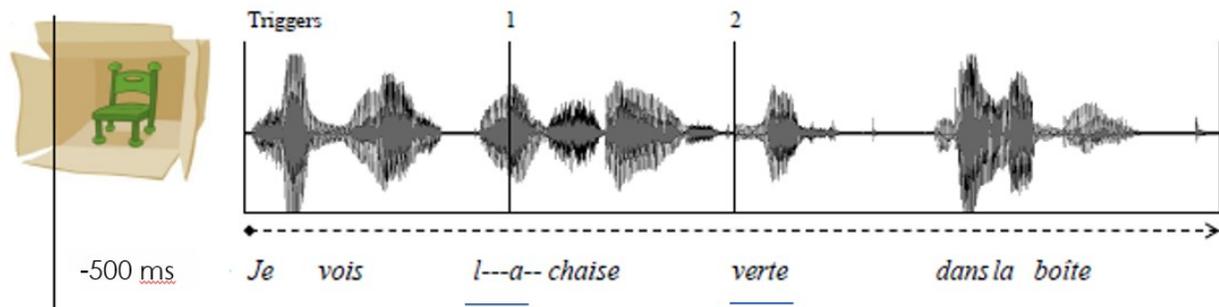
projet. Les tests de mémoire verbale et de mémoire de travail ont été administrés à la fin de la première séance. Le test de mémoire phonologique a été administré à la fin de la seconde séance.

Une fois le casque EEG posé, les participants étaient assis à un bureau à une distance d'environ 50 cm de l'écran d'ordinateur sur lequel étaient affichées les images. Les participants ont entendu les phrases à l'aide d'écouteurs à insertion (*ER-1 Insert Earphones, Etymotic Research*) placés dans les deux oreilles et ajustés à son niveau de confort. Les participants devaient juger si les phrases étaient grammaticales ou non à l'aide des touches d'un clavier d'ordinateur. La première partie de l'expérience contenait des essais de pratique présentés par le contexte de l'histoire. Les participants entendaient les instructions claires de la tâche : ils devaient appuyer sur la touche accompagnée par une émoticône souriant lorsque les phrases n'ont pas d'erreur et appuyer sur la touche accompagnée d'une émoticône triste lorsqu'il y a une erreur. La touche pour les bonnes réponses était située à gauche du clavier pour 50% des participants et à droite pour les autres, pour éviter les effets de latéralité sur les réponses des PÉs. On demandait aux participants adultes de bouger le moins possible et d'éviter de cligner les yeux. On donnait aux participants adolescents des instructions positives : de rester immobile et de cligner des yeux seulement au moment indiqué durant l'expérience, identifié par une image d'une paire d'yeux après chaque item. Un membre de l'équipe accompagnait le participant tout au long de la séance et monitorait la réponse électrophysiologique continue pour des problèmes liés aux électrodes et aux mouvements du corps. Les participants étaient avisés lorsqu'ils bougeaient trop ou lorsqu'ils clignaient trop des yeux. Des conditions d'essai étaient présentées au début de chaque liste et ont été retirées des analyses. Chaque item était précédé d'une croix de fixation qui était suivie d'un écran vide de 1000 ms. Une image était ensuite présentée sur l'écran 500 ms avant la présentation de la phrase auditive et restait à l'écran jusqu'à la fin de la phrase. Les participants devaient ensuite entrer leur réponse, ce qui déclenchait le prochain item. L'utilisation d'un paradigme bimodal audio-visuel permettait d'évaluer dans les deux conditions un processus de vérification de l'accord qui se déroule dans le même contexte : c'est à dire au moment de la perception du déterminant ou de l'adjectif, indépendamment de sa position par rapport au nom, étant donné l'effet d'amorce de l'image et l'utilisation d'un nombre restreint de stimuli. La Figure 7 illustre le déroulement d'un essai. Les déterminants ont été analysés au moment de la

production vocalique du déterminant (code de déclenchement [1]) et les adjectifs dès la production consonantique au début de l'adjectif (code de déclenchement [2]).

### Figure 7

*Déroulement d'un essai et représentation temps-fréquence d'un fichier audio où le temps 0 des analyses est sur [1] pour les déterminants et [2] pour les adjectifs*



## 2.8 Enregistrement EEG et prétraitement

Les EEG des participants ont été enregistrés en continu à une fréquence d'échantillonnage de 500Hz depuis un casque de 32 électrodes placées selon le modèle international 10/20 (Jasper, 1958). Le sous-ensemble des électrodes analysées couvrait les aires frontales, pariétales, temporales et occipitales (FP1, FP2, F3, F4, F7, F8, Fz, C3, C4, Cz, P3, P4, Pz, T3, T4, T5, T6, O1, O2, Oz, M1 et M2). Les impédances ont été maintenues sous 5k $\Omega$  et ont été vérifiées périodiquement durant l'expérience. L'enregistrement EEG a été amplifié avec un amplificateur ANT Neuro Eego™ avec comme référence l'électrode CPz. Le prétraitement a été effectué avec les programmes EEGLab (Delorme & Making, 2004; Makeig et al., 2004) et FieldTrip (Oostenveld et al., 2011) de MatLab (MATLAB, 2010), et les analyses statistiques ont été effectuées avec les programmes ERPscope (Herbay, 2020) et lmer (Bates et al., 2015) dans R (v1.4.1717; RStudio Team, 2020).

Les données comportementales des participants ont été analysées pour vérifier si leur taux de réponse était acceptable. Les participants ayant plus de 30% de réponses erronées ont été retirés des analyses. Aucun participant n'a été retiré des analyses pour cette raison.

Suite à l'enregistrement, les données ont été re-référencés sur les mastoïdes gauche et droite (M1, M2). Elles ont ensuite été re-échantillonnées à 250Hz et filtrées séquentiellement avec un

filtre passe-bas gaussien de 40Hz et un filtre passe-haut de 0,3Hz. Les essais des adultes contaminés par des artefacts de mouvement de plus de 70  $\mu\text{V}$  ont été rejetés. L'amplitude de la réponse neurophysiologique des adolescents et des enfants est généralement plus grande que celle des adultes et un seuil plus bas aurait retiré des essais non-contaminés. Pour conserver le plus de données possible, le seuil de 140  $\mu\text{V}$  a été choisi pour le groupe des adolescents. Les données rejetées sont présentées dans le tableau 3. Les données des participants avec plus de 30% de leurs essais rejetés ont été rejetés des analyses. 3 adultes et 4 adolescents ont été retirés pour cette raison. Les mouvements oculaires ont été retirés de chaque jeu de données individuellement pour chaque participant à l'aide de la méthode de *Independent Component Analysis* (ICA). Les mouvements oculaires ont été calculés à partir des électrodes Fp1 et Fp2. Ces électrodes ont ensuite été retirées des analyses. Une seule composante représentant le mieux les mouvements oculaires de clignement d'yeux a été retirée pour chaque participant. Une ligne de base de -600 ms avant la présentation du mot critique a été choisie. Le mot critique était le déterminant ou l'adjectif, pour leur condition respective. Les ondes EEG de chaque participant ont été moyennées de -600 ms à 2000 ms pour la condition adjectivale et de -600 ms à 1500 ms pour les déterminants.

**Tableau 5**

*Moyenne d'items restant après le rejet des artefacts de mouvement, par condition et par groupe (écart-type entre parenthèses)*

	Adjectif correct (48)	Adjectif erreur (48)	Déterminant correct (48)	Déterminant erreur (48)	Tests-t
Adolescents	43,94 (3,17)	44,11 (2,68)	45,22 (3,10)	44,65 (2,91)	,92
Adultes	45,21 (3,83)	45,87 (3,45)	45,32 (3,28)	45,63 (2,34)	,88

*Notes : Les conditions correctes de chaque condition (déterminant et adjectif) ont été comparées à leur condition incorrecte respective*

## 2.9 Analyses

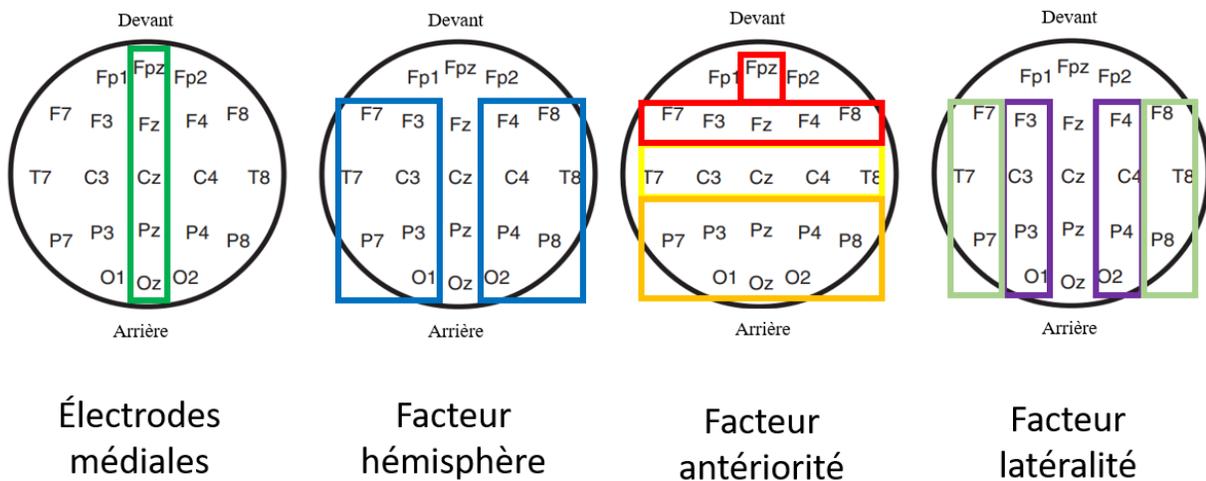
À l'aide du *package* lme4 dans R (Bates et al., 2015), les données ont été insérées dans des modèles mixtes linéaires. Les analyses pour les électrodes médiales et latérales ont été faites

séparément. Les analyses pour les conditions des désaccords sur les déterminants et des adjectifs ont été faites séparément. Les facteurs CONDITION (2 niveaux : correcte et incorrecte) et GROUPE (2 niveaux : adulte et adolescent) étaient les facteurs fixes. La variable aléatoire PARTICIPANT était présente dans tous les modèles. Pour les électrodes médiales, le facteur ANTÉRIORITÉ (3 niveaux : antérieure (Fpz), centrale (Cz) et postérieure (Pz, Oz)) était inclus dans les modèles. Pour les électrodes latérales, les facteurs ANTÉRIORITÉ (antérieure (F7, F3, Fz, F4 et F8), centrale (T7, C3, C4 et T8) et postérieure (P7, P3, P4, P8, O1 et O2)), LATÉRALITÉ (2 niveaux : latérale (F7, F8, T7, T8, P7 et P8) et médiane (F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1 et O2)) et HÉMISPHERE (2 niveaux : gauche (F7, F3, T7, C3, P7, P3 et O1) et droite (F4, F8, C4, T8, P4, P8 et O2)) étaient inclus. Le facteur latéralité permet d'obtenir une gradation de latéralité, pour des effets médiaux ou latéraux (voir électrodes plus haut), indépendamment de l'hémisphère. La Figure 8 résume la répartition des facteurs de localisation. Pour chaque type de désaccord (déterminant et adjectif), pour les matrices d'électrodes médiales et latérales, et pour chaque fenêtre de temps, le modèle avec le plus bas critère d'information d'Akaike (AIC) a été trouvé en comparant toutes les possibilités d'effets fixes et d'interactions contenant au minimum l'interaction entre la CONDITION et le GROUPE. Le modèle maximal, pour les électrodes médiales,  $CONDITION * GROUPE * ANTÉRIORITÉ * LATÉRALITÉ * HÉMISPHERE + (1 | PARTICIPANT)$  a été calculé, et les autres modèles ont été extraits en retirant les effets et les interactions jusqu'à convergence, tel que témoigné par le AIC (Baayen et al., 2008; Barr et al., 2013). Les modèles avec le AIC le plus bas ont été comparés à l'aide d'analyses de variance, afin de trouver le modèle minimal expliquant le mieux les données. L'intercept de chaque modèle a été calculé à partir de la formule du modèle. Le niveau de chaque facteur utilisé pour l'intercept est cependant le même pour chaque modèle et l'intercept de chaque modèle est une variante de celui du modèle maximal, qui est : CONDITION : correcte \* GROUPE : adulte \* ANTÉRIORITÉ : antérieure \* LATÉRALITÉ : latérale \* HÉMISPHERE : droit. Finalement, les interactions significatives dans les modèles ont été décomposées en isolant les électrodes touchées. Par exemple, si une interaction significative entre CONDITION et ANTÉRIORITÉ : postérieure est trouvée dans un modèle, de nouveaux modèles seront calculés pour les électrodes postérieures (P7, P3, Pz, P4, P8, O1, Oz et O2) (Figure 8). Dans cet exemple, seul le facteur CONDITION sera présent dans le modèle. Les modèles des décompositions sont

disponibles dans l'annexe 1 (p. 99). Les visualisations des effets marginaux des modèles, où les moyennes prédites sont présentées avec les erreurs standards, ont été extraites à l'aide de la fonction *plot\_model* du package *sjmisc* (Lüdtke, 2018) dans Rstudio, en ne conservant que les facteurs impliqués dans l'interaction.

**Figure 8**

*Répartition des électrodes pour chaque condition et facteur. Les électrodes médiales étaient analysées que par le facteur antériorité (électrodes Fz, Cz et Pz/Oz). Les électrodes latérales avaient les facteurs hémisphère (gauche, droite), antériorité (antérieur en rouge, central en jaune et postérieur en orange), et latéralité (médiane en violet et latéral en vert).*



## Chapitre 3 – Résultats

### 3.1 Résultats comportementaux

Les taux de réussite extraits de la tâche de jugement de grammaticalité sont supérieurs à 90%. Aucune différence n'a été trouvée entre les conditions ( $p > 0,05$ ) et entre les groupes ( $p > 0,05$ ). Ces données n'ont pas été analysées davantage.

### 3.2 Résultats des analyses de potentiels évoqués

#### 3.2.1 La condition déterminant

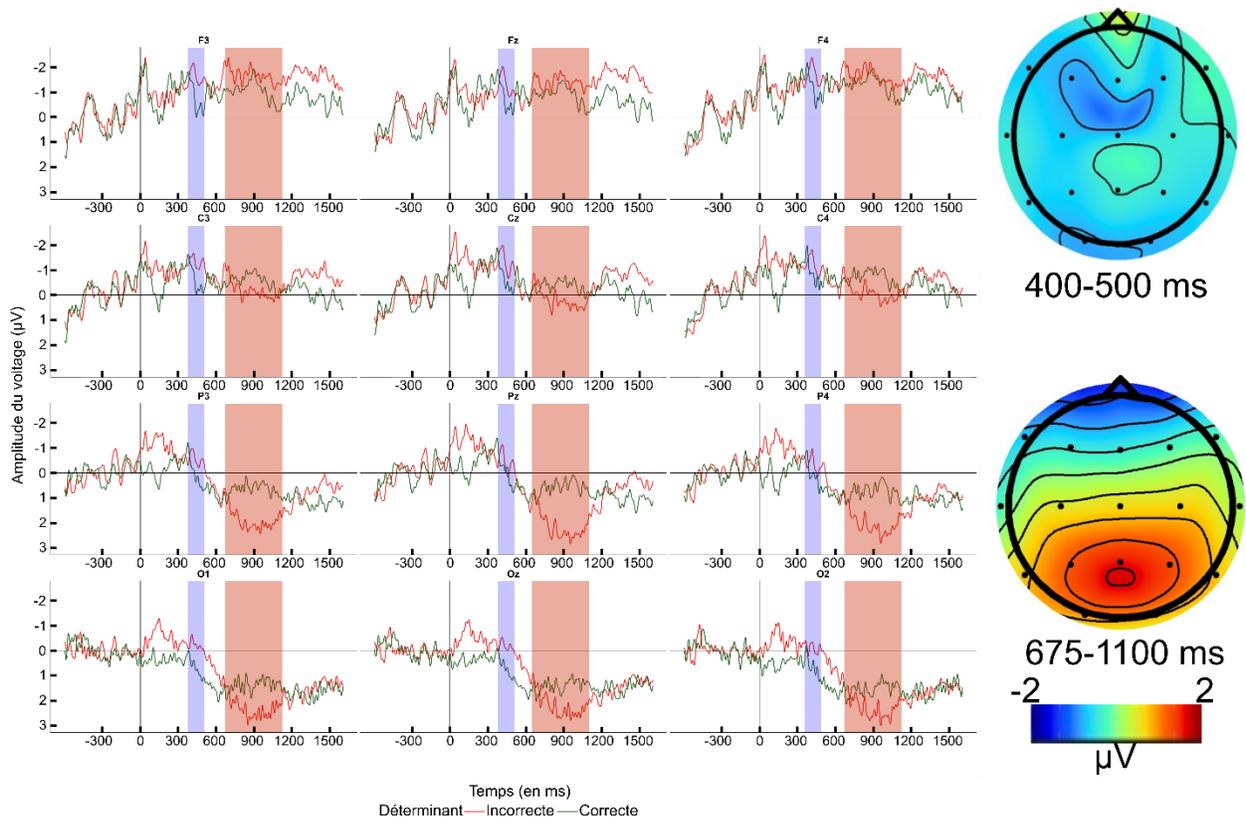
##### 3.2.1.1 La visualisation des données

La Figure 9 montre que les erreurs sur les déterminants induisent un patron biphasique chez les adultes. La carte topographique (à droite) montre une négativité antérieure (AN) entre 400 et 500 ms suivie d'une positivité postérieure, maximale aux électrodes P3, Pz, P4, O1, Oz et O2 qui émerge de 650 ms à 1200 ms. Les représentations oscillographiques (temps/voltage) (à gauche) montrent que la négativité est assez distribuée, et que les amplitudes les plus importantes se retrouvent aux électrodes P3, O1 et Oz.

La Figure 10 montre que les erreurs d'accord sur les déterminants induisent chez les adolescents un patron biphasique similaire à celui des adultes. La topographie montre que la négativité est latéralisée à gauche et plutôt antérieure, suggérant qu'il s'agit d'une LAN. Les représentations temps-voltage (à gauche) montrent que la négativité est présente principalement pour les électrodes F3, C3 et P3. La négativité est suivie d'une positivité centropostérieure, maximale aux électrodes Pz, P3, P4 et Oz entre 800 et 1300 ms, pointant vers une possible P600.

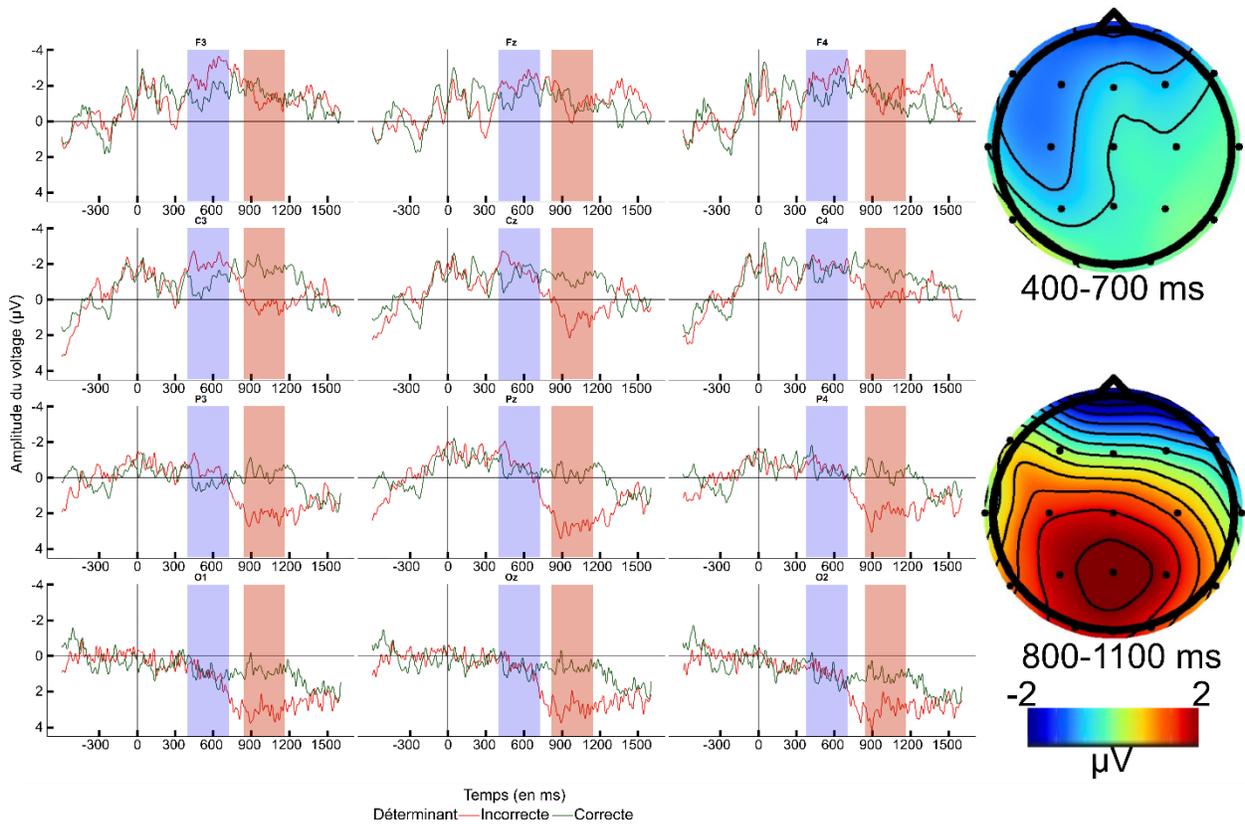
**Figure 9**

À gauche : représentation du voltage des **adultes** de la condition **déterminant** où la condition correcte est en vert et incorrecte en rouge. À droite : distribution de la différence de voltage entre les conditions incorrecte et correcte, pour les fenêtres de temps de la négativité (400–500 ms) et de la positivité (675–1100 ms)



**Figure 10**

À gauche : représentation du voltage des **adolescents** de la condition **déterminant** où la condition correcte est en vert et incorrecte en rouge. À droite : distribution de la différence de voltage entre les conditions incorrecte et correcte, pour les fenêtres de temps de la négativité (400–700 ms) et de la positivité (800–1300 ms)



### 3.2.1.2 Les analyses de la fenêtre de temps de la négativité

L'inspection visuelle révèle que la fenêtre de temps où émerge la négativité est différente entre les adultes et les adolescents. Nous avons choisi d'utiliser des fenêtres de temps différentes pour les deux groupes. Pour les adultes, la négativité sera analysée entre 400 et 500 ms et elle sera analysée entre 400 et 700 ms pour les adolescents.

#### *3.2.1.2.1 Analyse des électrodes latérales*

Le meilleur modèle pour les électrodes latérales est CONDITION \* GROUPE \* ANTÉRIORITÉ + LATÉRALITÉ (AIC : 5801,00). Le Tableau 6 présente ce modèle.

Ce modèle révèle un effet significatif de la CONDITION, appuyant la présence d'une négativité dans la condition incorrecte pour les deux groupes. Aucune interaction entre la CONDITION et les facteurs cartographiques n'a été observée. Finalement, ce modèle ne révèle aucune interaction significative entre le GROUPE et la CONDITION.

**Tableau 6**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition déterminant pour les négativités des adultes (400-500 ms) et des adolescents (400-700 ms) pour les électrodes latérales. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.*

<b>Effets Fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	-0,379	0,317	-1,196	0,235
<b>Condition incorrecte</b>	<b>-0,757</b>	<b>0,268</b>	<b>-2,826</b>	<b>0,005</b>
Groupe Adolescents	-0,530	0,456	-1,163	0,248
Antériorité : centrale	0,310	0,268	1,155	0,248
Antériorité : postérieure	1,317	0,245	5,370	0,000
Latéralité : médiane	-0,480	0,108	-4,468	0,000
CI * GA	-0,075	0,394	-0,190	0,850
CI * Antériorité : centrale	0,139	0,379	0,367	0,714
CI * Antériorité : postérieure	-0,078	0,346	-0,227	0,821
GA * Antériorité : centrale	-0,078	0,391	-0,198	0,843
GA * Antériorité : postérieure	0,926	0,357	2,595	0,010
CI * GA * Antériorité : centrale	0,118	0,556	0,211	0,833
CI * GA * Antériorité : postérieure	0,634	0,508	1,249	0,212
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	1,603	1,266		

*Équation du modèle : Voltage → condition \* groupe \* antériorité + latéralité + (1 | participant) Note : CI = Condition incorrecte, GA = Groupe adolescent*

### 3.2.1.2.2 Analyse des électrodes médiales

Pour les électrodes médiales, le meilleur modèle est CONDITION \* GROUPE + ANTÉRIORITÉ (AIC = 2118,50). Les résultats de ce modèle sont présentés dans le Tableau 7.

Ce modèle montre que l'effet fixe de CONDITION est significatif pour les deux groupes, mais aucune interaction significative n'a été trouvée avec le facteur GROUPE, ni avec les facteurs topographiques.

**Tableau 7**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition déterminant pour les négativités des adultes (400-500 ms) et des adolescents (400-700 ms) pour les électrodes **médiales**. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.*

<b>Effets Fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	-0,583	0,374	-1,560	0,124
<b>Condition incorrecte</b>	<b>-0,705</b>	<b>0,236</b>	<b>-2,988</b>	<b>0,003</b>
Groupe adolescent	-0,433	0,523	-0,828	0,411
Antériorité : centrale	-0,075	0,237	-0,318	0,751
Antériorité : postérieure	1,187	0,193	6,140	0,000
CI * GA	0,320	0,348	0,919	0,359
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	2,612	1,616		

Équation du modèle : Voltage → condition \* groupe + antériorité + (1| participant). Note : CI = Condition incorrecte, GA = Groupe adolescent

### 3.2.1.3 Les analyses de la fenêtre de temps de la positivité

L'inspection visuelle révèle que la fenêtre de temps où émerge la positivité est différente entre les adultes et les adolescents. Pour les adultes, la positivité sera analysée entre 675 et 1100 ms et elle sera analysée entre 800 et 1300 ms pour les adolescents.

#### 3.2.1.3.1 Analyse des électrodes latérales

Le modèle expliquant le mieux les données pour les électrodes latérales est CONDITION \* GROUPE \* ANTÉRIORITÉ \* LATÉRALITÉ (AIC = 5672,92). Le Tableau 8 résume les résultats de ce modèle.

Nous ne retrouvons dans ce modèle aucun effet simple de CONDITION. Nous trouvons cependant une interaction significative entre CONDITION et ANTÉRIORITÉ, pour la région postérieure, reflétant que la différence de voltage entre la condition correcte et incorrecte se retrouve principalement aux électrodes postérieures. Aucune interaction significative avec les facteurs hémisphère et latéralité n'a été observée. La décomposition de l'interaction avec les électrodes postérieures est illustrée dans la Figure 11 et rapportée dans le Tableau 14 (p. 99) (électrodes P7, P3, Pz, P4, P8, O1, Oz et O2). La décomposition montre un effet simple significatif de CONDITION, appuyant que la différence entre les conditions aux électrodes postérieures est significative.

**Tableau 8**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition déterminant pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (800-1300 ms) pour les électrodes latérales. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.*

Effets Fixes				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	-1,202	0,328	-3,663	0,000
Condition incorrecte	-0,549	0,361	-1,520	0,129
Groupe adolescent	-0,086	0,479	-0,180	0,857
Latéralité : médiane	0,016	0,361	0,045	0,964
Antériorité : centrale	0,510	0,361	1,411	0,158
Antériorité : postérieure	2,144	0,361	5,931	0,000
CI * GA	0,054	0,531	0,102	0,919
CI * Latéralité : médiane	0,076	0,511	0,149	0,881
GA * Latéralité : médiane	0,188	0,528	0,356	0,722
CI * Antériorité : centrale	0,436	0,511	0,853	0,394
<b>CI * Antériorité : postérieure</b>	<b>1,305</b>	<b>0,511</b>	<b>2,552</b>	<b>0,011</b>
GA * Antériorité : centrale	-0,611	0,528	-1,158	0,247
GA * Antériorité : postérieure	-0,063	0,528	-0,119	0,905
Latéralité : médiane * Antériorité : centrale	0,011	0,511	0,022	0,983
Latéralité : médiane * Antériorité : postérieure	0,099	0,478	0,206	0,837
CI * GA * Latéralité : médiane	0,157	0,751	0,209	0,835
CI * GA * Antériorité : centrale	-0,201	0,751	-0,267	0,789
CI * GA * Antériorité : postérieure	0,409	0,751	0,545	0,586

CI * Latéralité : médiane * Antériorité : centrale	0,587	0,723	0,812	0,417
CI * Latéralité : médiane * Antériorité : postérieure	0,266	0,676	0,393	0,694
GA * Latéralité : médiane * Antériorité : centrale	-0,118	0,746	-0,158	0,875
GA * Latéralité : médiane * Antériorité : postérieure	-0,551	0,698	-0,789	0,430
CI * Adolescents * Latéralité : médiane * Antériorité : centrale	0,897	1,062	0,845	0,398
CI * GA * Latéralité : médiane * Antériorité : postérieure	0,398	0,993	0,401	0,689

---

**Effets aléatoires**

---

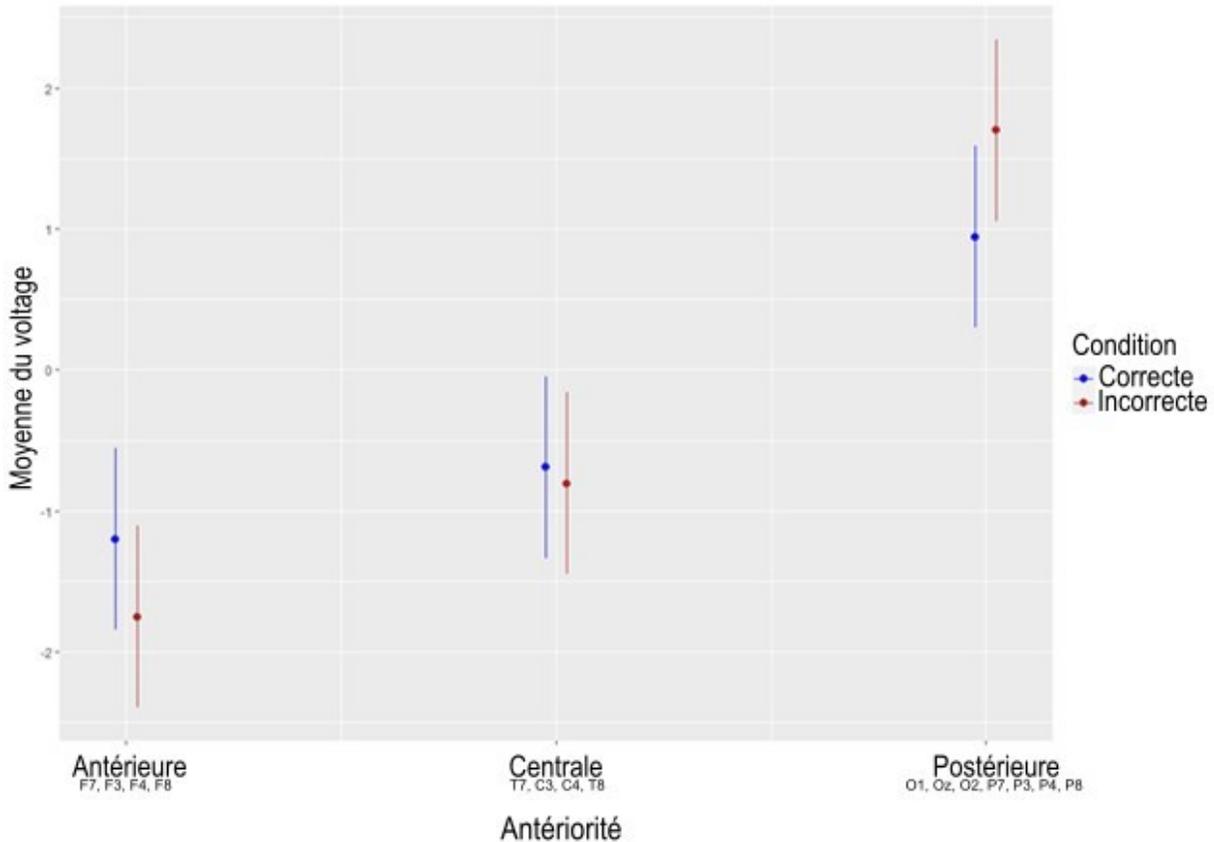
	Variance	Erreur standard
Participants (intercept)	1,100	1,049

---

*Équation du modèle : Voltage → condition \* groupe \* antériorité\* latéralité + (1| participant). CI = Condition incorrecte, GA = Groupe adolescent*

**Figure 11**

Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions déterminants (correcte, incorrecte) pour les positivités des électrodes **latérales** en fonction du facteur antériorité



### 3.2.1.3.2 Analyse des électrodes médiales

Le meilleur modèle pour les électrodes médiales est CONDITION \* GROUPE \* ANTÉRIORITÉ (AIC = 2013,93). Ce modèle est présenté dans le Tableau 9.

On retrouve dans ce modèle une tendance non significative de l'effet fixe de CONDITION. Nous ne retrouvons pas d'interaction entre la CONDITION et le GROUPE. L'interaction significative entre CONDITION et ANTÉRIORITÉ, spécifiquement postérieure et centrale, appuie la présence d'une P600. La décomposition de cette interaction aux électrodes postérieures (CONDITION \* ANTÉRIORITÉ : postérieure) et centrales (CONDITION \* ANTÉRIORITÉ : centrale) sont illustrées respectivement dans la Figure 12 et présentées dans le Tableau 15 (p. 100) (électrodes Pz et Oz)

et le Tableau 16 (p. 100), (électrode Cz). Les décompositions révèlent un effet simple de CONDITION, appuyant une différence significative entre les conditions dans les électrodes Cz, Pz et Oz.

**Tableau 9**

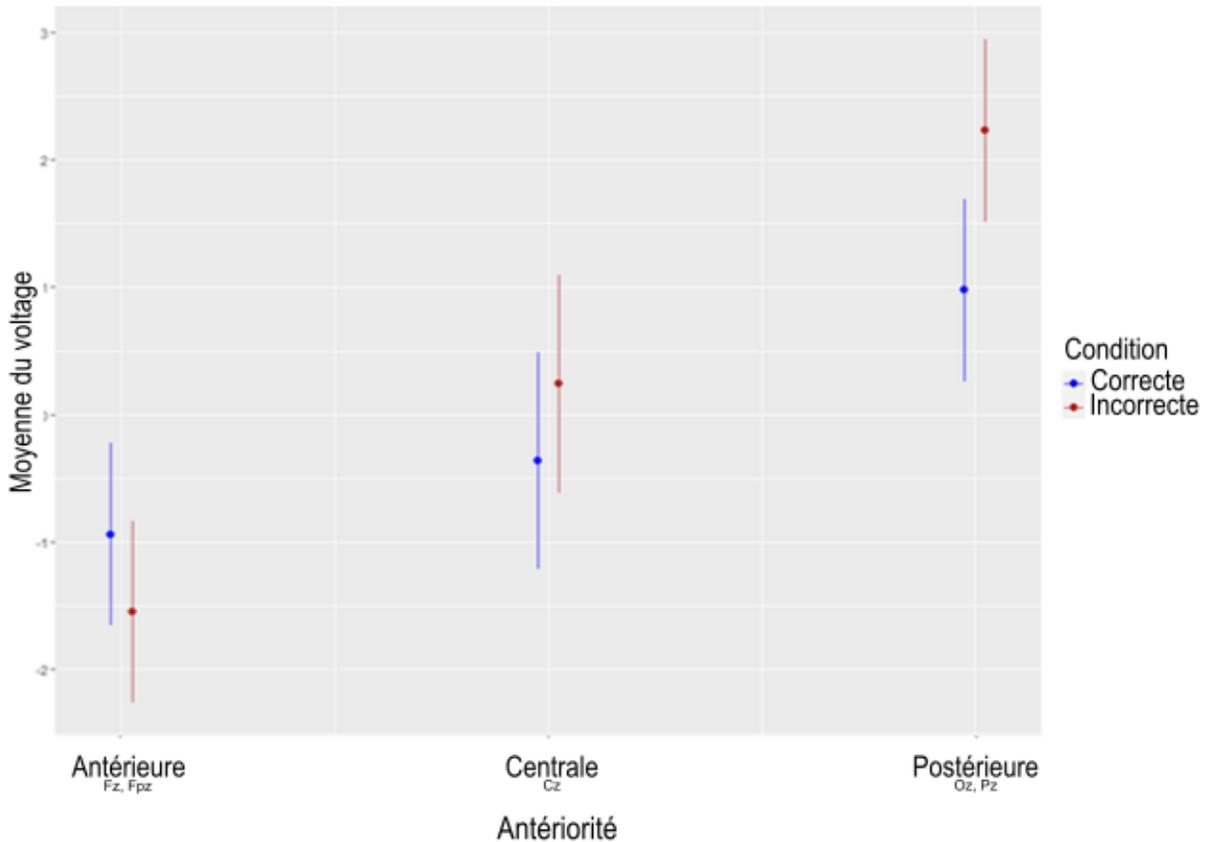
*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition déterminant pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (800-1300 ms) pour les électrodes médiales. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.*

<b>Effets fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	-0,939	0,364	-2,580	0,011
<b>Condition incorrecte</b>	<b>-0,606</b>	<b>0,334</b>	<b>-1,815</b>	<b>0,070</b>
Groupe adolescent	-0,020	0,532	-0,038	0,970
Antériorité : centrale	0,579	0,409	1,416	0,157
Antériorité : postérieure	1,915	0,334	5,734	0,000
Condition : incorrecte: Groupe adolescent	0,430	0,491	0,875	0,382
<b>CI * Antériorité : centrale</b>	<b>1,206</b>	<b>0,578</b>	<b>2,085</b>	<b>0,038</b>
<b>CI * Antériorité : postérieure</b>	<b>1,858</b>	<b>0,472</b>	<b>3,936</b>	<b>0,000</b>
GA * Antériorité : centrale	-0,426	0,597	-0,714	0,476
GA * Antériorité : postérieure	-0,620	0,487	-1,273	0,204
CI * GA: Antériorité : centrale	0,791	0,849	0,931	0,352
CI * GA: Antériorité : postérieure	0,860	0,693	1,240	0,216
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	1,998	1,414		

*Équation du modèle : Voltage → condition \* groupe \* antériorité + (1| participant). Note : CI = Condition incorrecte, GA = Groupe adolescent*

**Figure 12**

Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions déterminants (correcte, incorrecte) pour les positivités des électrodes **médiales** en fonction du facteur antériorité



### 3.2.2 La Condition adjectivale

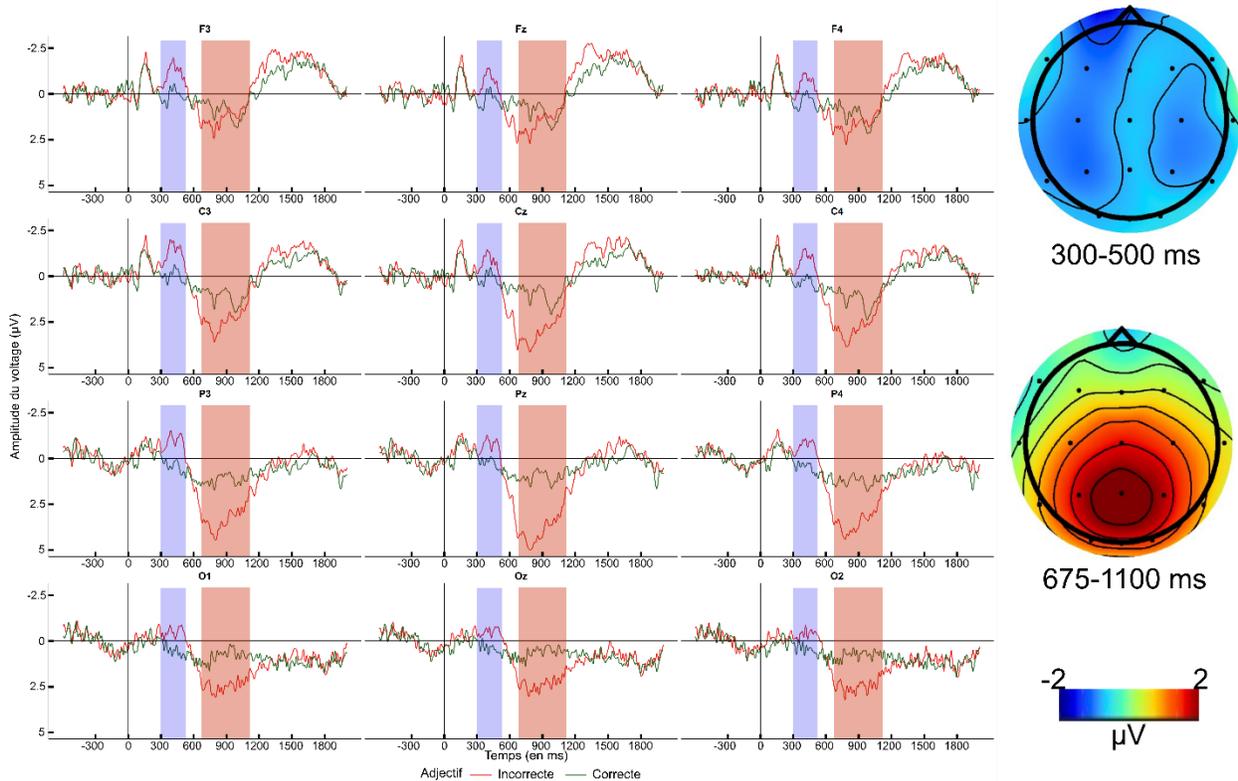
#### 3.2.2.1 La visualisation des données

La Figure 13 montre que les erreurs sur les adjectifs ont induit chez les adultes un patron biphasique. Les topographies révèlent une négativité latéralisée à gauche (LN), ou bilatérale et légèrement postérieure. Les représentations temps-voltage (à gauche) soutiennent la présence d'une négativité, où l'amplitude est plus importante aux électrodes F3, C3 et P3, mais aussi aux électrodes C4 et P4, suggérant que la négativité est bilatérale. La positivité est centropostérieure et maximale entre 600 et 1100 ms et ressemble à une P600 qui est maximale aux électrodes P et O.

La Figure 14 montre que cette condition a induit chez les adolescents une négativité centropostérieure qui s'apparente à une N400, suivie d'une positivité centropostérieure similaire à une P600. Les représentations temps-voltage appuient les topographies, avec des négativités fortes aux électrodes, P et O, et une positivité maximale aux électrodes Pz et Oz.

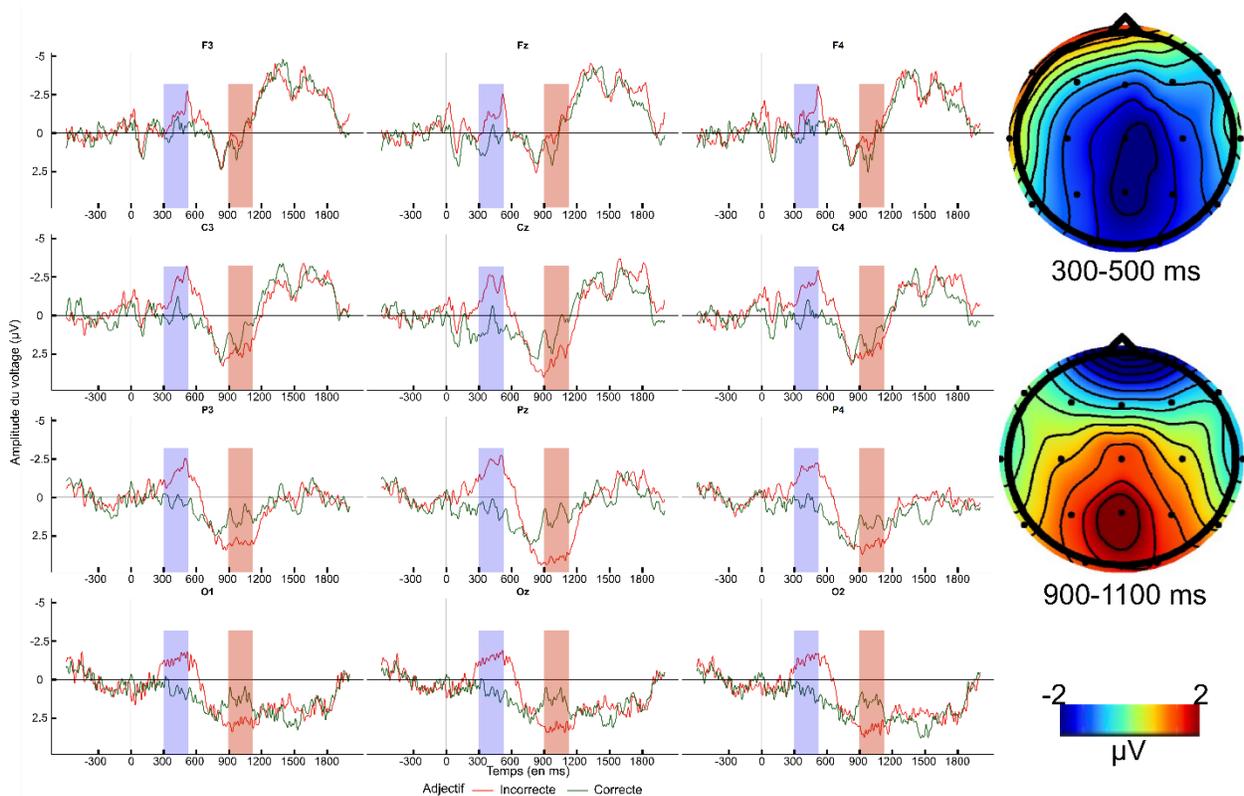
**Figure 13**

À gauche : représentation du voltage des **adultes** de la condition **adjectivale** par le temps où la condition correcte est en vert et incorrecte en rouge. À droite, distribution de la différence de voltage entre les conditions incorrecte et correcte, pour les fenêtres de temps de la négativité (300-500 ms) et de la positivité (675-1100 ms)



**Figure 14**

À gauche : représentation du voltage des **adolescents** de la condition **adjectivale** par le temps où la condition correcte est en vert et incorrecte en rouge. À droite, distribution de la différence de voltage entre les conditions incorrecte et correcte, pour les fenêtres de temps de la négativité (300-500 ms) et de la positivité (900-1100 ms)



### 3.2.2.2 Les analyses de la fenêtre de temps de la négativité

#### 3.2.2.2.1 Analyse des électrodes latérales

Pour les électrodes latérales, le meilleur modèle est  $CONDITION * GROUPE * LATÉRALITÉ + ANTÉRIORITÉ + HÉMISPHERE$  (AIC = 5370,46). Le Tableau 10 résume ce modèle.

Ce modèle révèle un effet simple significatif de  $CONDITION$ . De plus, le modèle montre une interaction significative entre  $CONDITION$  et  $GROUPE$ , et entre  $CONDITION$ ,  $GROUPE$  et  $LATÉRALITÉ$ .

L'interaction significative entre CONDITION, GROUPE et LATÉRALITÉ a été décomposée et est présentée dans le Tableau 17 (p. 101) et illustrée dans la Figure 15 (électrodes F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1 et O2). Ce modèle révèle un effet fixe de CONDITION et une interaction significative entre CONDITION et GROUPE, supportant une différence entre les groupes pour ces électrodes. La visualisation des effets marginaux du modèle nous montre que la négativité des adolescents est maximale aux électrodes médianes, mais absente aux électrodes latérales, alors que celle des adultes est présente dans les deux matrices d'électrodes.

**Tableau 10**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les négativités des adultes et des adolescents (300-500 ms) pour les électrodes **latérales**. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.*

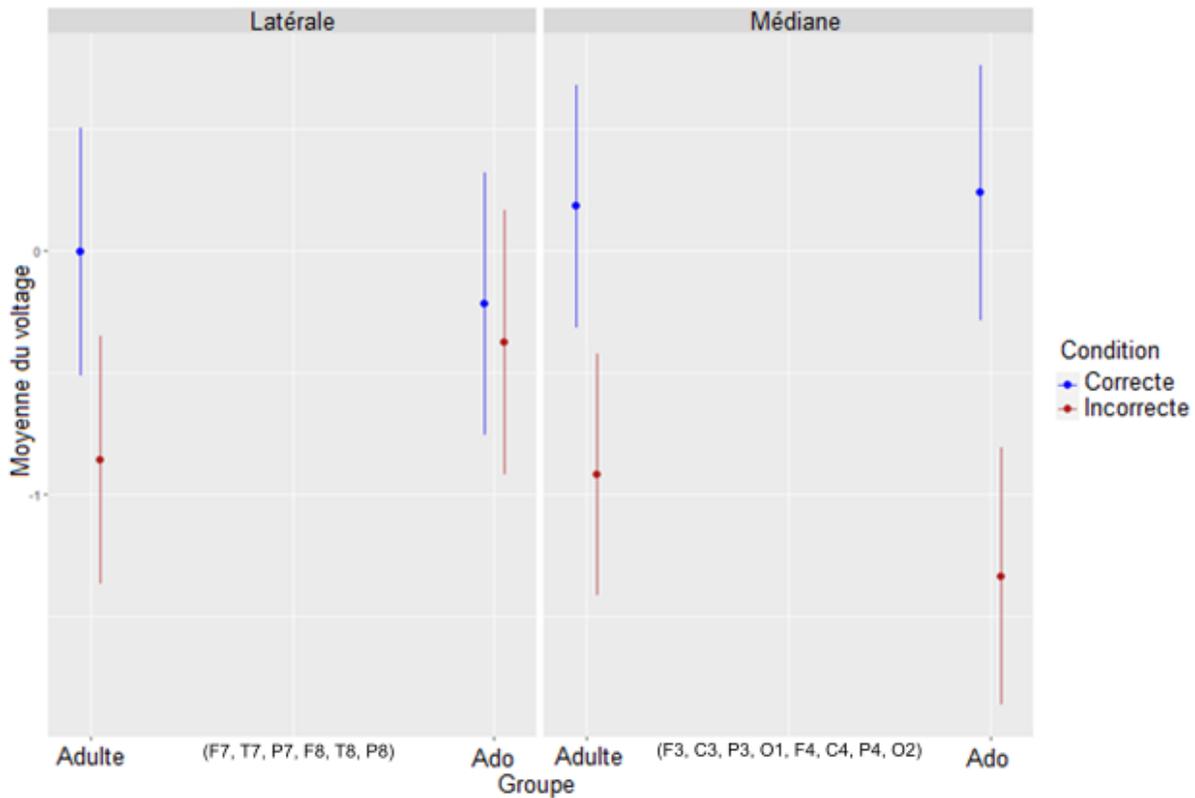
Effets Fixes				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	-0,004	0,260	-0,017	0,986
<b>Condition incorrecte</b>	<b>-0,856</b>	<b>0,187</b>	<b>-4,588</b>	<b>0,000</b>
Groupe adolescent	-0,213	0,361	-0,590	0,557
Latéralité : médiane	0,186	0,175	1,061	0,289
Antériorité : centrale	-0,266	0,118	-2,248	0,025
Antériorité : postérieure	0,025	0,109	0,230	0,818
Hémisphère : gauche	0,337	0,089	3,770	0,000
<b>Condition incorrecte * Groupe adolescent</b>	<b>0,696</b>	<b>0,275</b>	<b>2,537</b>	<b>0,011</b>
CI * Latéralité : médiane	-0,244	0,247	-0,990	0,322
GA * Latéralité : médiane	0,269	0,255	1,055	0,292
<b>CI* GA* Latéralité : médiane</b>	<b>-1,170</b>	<b>0,362</b>	<b>-3,229</b>	<b>0,001</b>

Effets aléatoires		
	Variance	Erreur standard
Participants (intercept)	1,133	1,065

Équation du modèle :  $\text{Voltage} \rightarrow \text{condition} * \text{groupe} * \text{latéralité} + \text{antériorité} + \text{hémisphère} + (1 | \text{participant})$ . Note : CI = Condition incorrecte, GA = Groupe adolescent

**Figure 15**

Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions adjectivales (correcte, incorrecte) pour les négativités des adultes et des adolescents pour les électrodes **latérales** par latéralité



### 3.2.2.2.1 Analyse des électrodes médiales

Pour les électrodes médiales, le meilleur modèle est CONDITION \* GROUPE (AIC = 1894,02). Le modèle est rapporté dans le Tableau 11. On retrouve dans ce modèle un effet significatif de CONDITION et une interaction significative entre CONDITION et GROUPE, qui sont illustrées dans

la Figure 16. Nous observons que la négativité des adolescents est plus prononcée à ces électrodes que celle des adultes, ce qui est congruent avec les effets trouvés pour les électrodes latérales.

**Tableau 11**

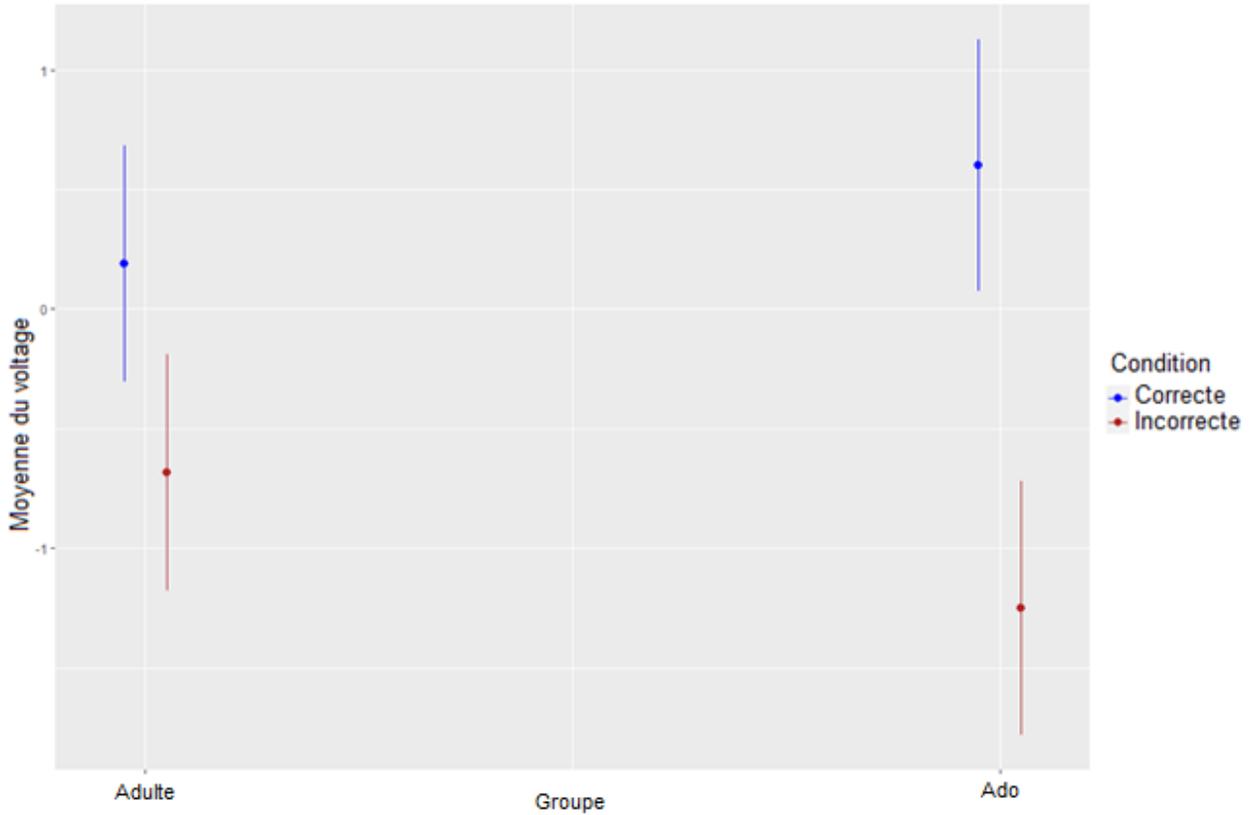
*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les négativités des adultes et des adolescents (300-500 ms) pour les électrodes **médiales**. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.*

<b>Effets Fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	0,189	0,252	0,751	0,456
<b>Condition incorrecte</b>	<b>-0,871</b>	<b>0,191</b>	<b>-4,565</b>	<b>0,000</b>
Groupe adolescent	0,412	0,368	1,121	0,267
<b>CI * GA</b>	<b>-0,980</b>	<b>0,281</b>	<b>-3,484</b>	<b>0,001</b>
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	1,177	1,085		

*Équation du modèle : Voltage  $\rightarrow$  condition \* groupe + (1| participant). Note : CI = Condition incorrecte, GA = Groupe adolescent*

**Figure 16**

*Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions adjectivales (correcte, incorrecte) pour les négativités des adultes et des adolescents pour les électrodes **médiales** (Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz)*



### 3.2.2.3 Les analyses de la fenêtre de temps de la positivité

D'après l'inspection visuelle, la positivité semble émerger à une latence différente entre les adultes et les adolescents. Pour les adultes, la positivité sera analysée entre 675 et 1100 ms et elle sera analysée entre 900 et 1100 ms pour les adolescents.

#### 3.2.2.3.1 Analyse des électrodes latérales

Pour les électrodes latérales, le meilleur modèle est CONDITION \* GROUPE \* ANTÉRIORITÉ \* LATÉRALITÉ (AIC = 5878,95). Le Tableau 12 rapporte les résultats de ce modèle.

Ce modèle montre une interaction significative entre CONDITION et ANTÉRIORITÉ, spécifiquement postérieure. L'interaction entre CONDITION et ANTÉRIORITÉ a été investiguée en

analysant les électrodes postérieures. La décomposition est illustrée dans la Figure 17 et est présentée dans le Tableau 18 (p. 101) (électrodes P7, P3, P4, P8, O1 et O2). Cette décomposition montre un effet fixe significatif de CONDITION, appuyant la présence d'une positivité postérieure qui ne diffère pas entre les groupes.

**Tableau 12**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (900-1100 ms) pour les électrodes latérales. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.*

Effets fixes				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	0,614	0,353	1,738	0,084
Condition incorrecte	-0,192	0,391	-0,491	0,624
Groupe adolescent	-0,175	0,516	-0,339	0,735
Latéralité : médiane	0,450	0,391	1,153	0,249
Antériorité : centrale	-0,159	0,391	-0,407	0,684
Antériorité : postérieure	0,373	0,391	0,955	0,340
CI * GA	-0,443	0,574	-0,772	0,440
CI * Latéralité : médiane	0,599	0,552	1,084	0,279
GA * Latéralité : médiane	0,116	0,570	0,203	0,839
CI * Antériorité : centrale	0,507	0,552	0,918	0,359
<b>CI* Antériorité : postérieure</b>	<b>1,208</b>	<b>0,552</b>	<b>2,186</b>	<b>0,029</b>
GA * Antériorité : centrale	-0,073	0,570	-0,129	0,898
GA * Antériorité : postérieure	-0,212	0,570	-0,372	0,710
Latéralité : médiane * Antériorité : centrale	0,292	0,552	0,529	0,597

Latéralité : médiane * Antériorité : postérieure	-0,445	0,517	-0,860	0,390
CI * GA * Latéralité : médiane	-0,757	0,811	-0,934	0,351
CI * GA * Antériorité : centrale	-0,538	0,811	-0,663	0,507
CI * GA * Antériorité : postérieure	0,399	0,811	0,492	0,623
CI* Latéralité : médiane * Antériorité : centrale	0,493	0,781	0,632	0,528
CI* Latéralité : médiane * Antériorité : postérieure	0,334	0,731	0,458	0,647
GA * Latéralité : médiane * Antériorité : centrale	0,467	0,806	0,579	0,563
GA * Latéralité : médiane * Antériorité : postérieure	0,485	0,754	0,643	0,520
CI * GA * Latéralité : médiane * Antériorité : centrale	1,177	1,147	1,026	0,305
CI * GA * Latéralité : médiane * Antériorité : postérieure	0,743	1,073	0,693	0,489

---

**Effets aléatoires**

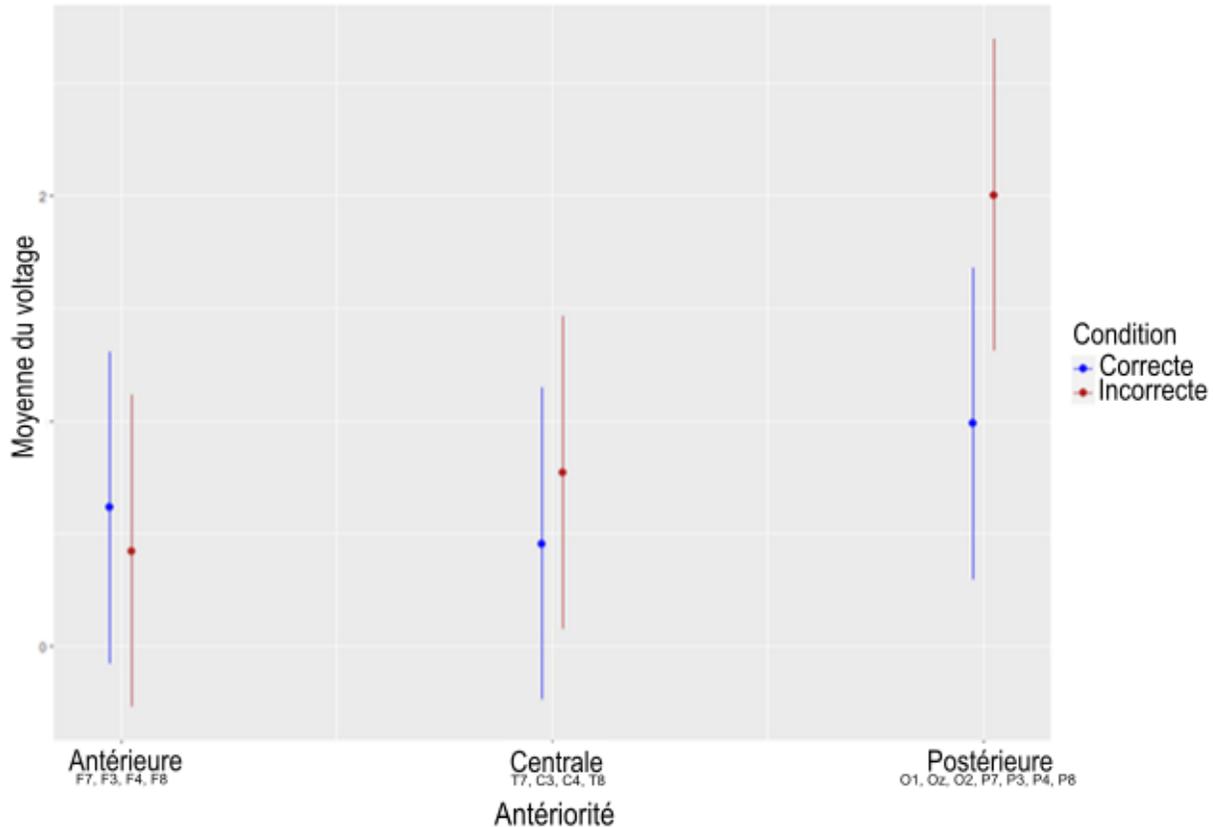
	Variance	Erreur standard
Participants (intercept)	1,266	1,125

---

*Équation du modèle : Voltage → condition \* groupe \* antériorité \* latéralité + (1 | participant). Note : CI = Condition incorrecte, GA = Groupe adolescent*

**Figure 17**

*Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions adjectivales (correcte, incorrecte) pour les positivités des électrodes **latérales** en fonction du facteur antériorité*



### 3.2.2.3.2 Analyse des électrodes médiales

Pour les électrodes médiales, le meilleur modèle est  $CONDITION * GROUPE * ANTÉRIORITÉ$  et est présenté dans le Tableau 13 (AIC = 2146,60).

Nous retrouvons dans ce modèle une tendance non significative vers une interaction entre  $CONDITION$  et  $GROUPE$ . Nous trouvons ensuite une interaction significative entre  $CONDITION$  et  $ANTÉRIORITÉ$ , pour les électrodes centrales et postérieures. La décomposition des électrodes centrales et postérieures sont respectivement illustrées dans la Figure 18 et sont présentées dans le Tableau 19 (p. 102) (électrodes T7, C3, C4 et T8), et dans le Tableau 20 (p. 102) (électrodes P7,

P3, P4, P8, O1 et O2). Dans les deux décompositions, on retrouve un effet fixe significatif de CONDITION appuyant la présence d'une positivité significative dans ces électrodes pour les deux groupes.

**Tableau 13**

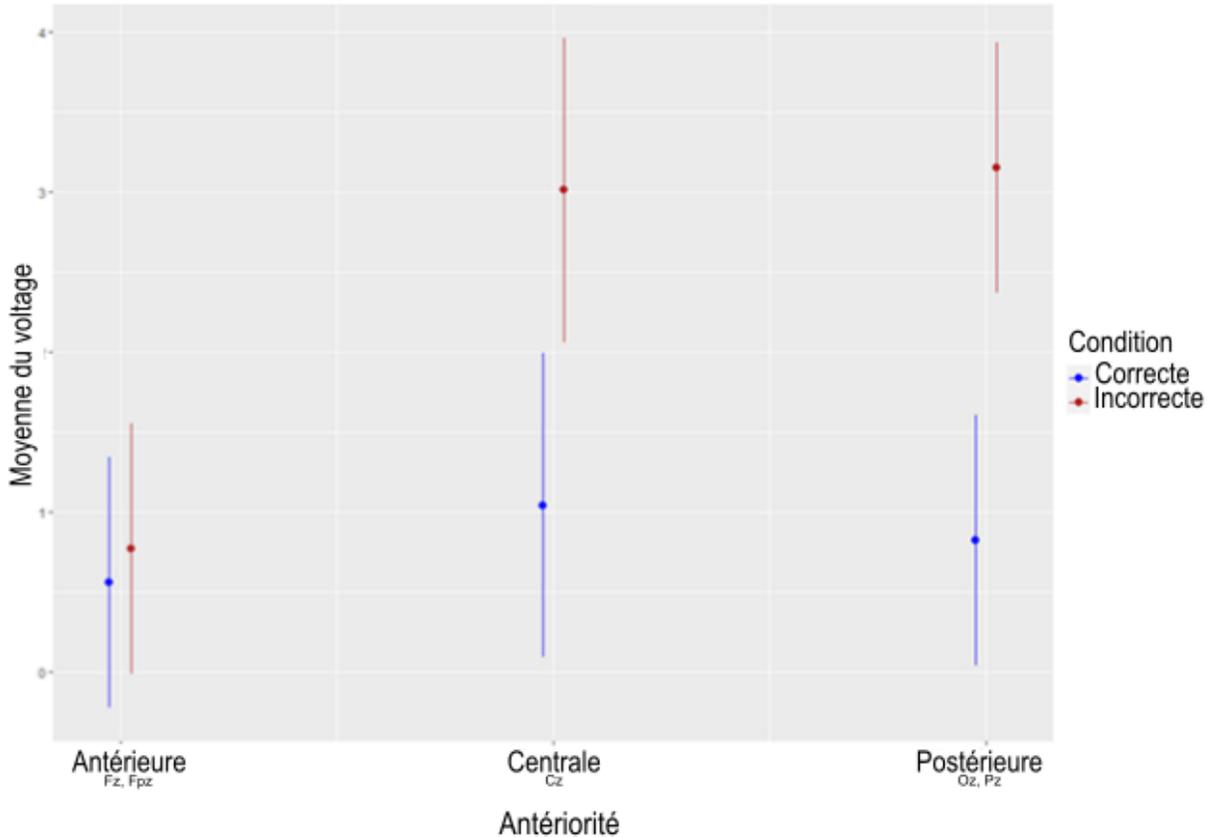
*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les positivités des adultes et des adolescents pour les électrodes **médiales**. Les effets significatifs impliquant la condition incorrecte et les interactions avec celle-ci son en gras.*

<b>Effets fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	0,561	0,399	1,405	0,163
Condition incorrecte	0,210	0,388	0,543	0,588
Groupe adolescent	-0,308	0,583	-0,528	0,599
Antériorité : centrale	0,481	0,475	1,013	0,311
Antériorité : postérieure	0,265	0,388	0,684	0,494
<b>CI * GA</b>	<b>-1,085</b>	<b>0,570</b>	<b>-1,903</b>	<b>0,058</b>
<b>CI * Antériorité : centrale</b>	<b>1,757</b>	<b>0,671</b>	<b>2,617</b>	<b>0,009</b>
<b>CI * Antériorité : postérieure</b>	<b>2,112</b>	<b>0,548</b>	<b>3,854</b>	<b>0,000</b>
GA * Antériorité : centrale	0,448	0,693	0,646	0,518
GA * Antériorité : postérieure	0,536	0,566	0,948	0,344
CI * GA * Antériorité : centrale	0,809	0,986	0,821	0,412
CI * GA * Antériorité : postérieure	1,319	0,805	1,639	0,102
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	2,194	1,481		

*Équation du modèle : Voltage → condition \* groupe \* antériorité + (1 | participant). Note : CI = Condition incorrecte, GA = Groupe adolescent*

**Figure 18**

Visualisation des effets marginaux du modèle mixte lmer pour voltage des conditions adjectivales (correcte, incorrecte) pour les positivités des électrodes **médiales** en fonction du facteur antériorité



### 3.3 Sommaire

En résumé, nous avons trouvé des négativités et des positivités significatives dans toutes les conditions. Les négativités trouvées dans la condition des déterminants étaient visuellement antérieures, avec une latéralisation à gauche pour celle des adolescents. Les analyses n'ont pas trouvé de différences entre les négativités des deux groupes ( $p > 0,05$ ). Les positivités étaient centro-postérieures et médiales pour les deux groupes, et n'étaient pas significativement différentes les unes des autres ( $p > 0,05$ ). La tendance non significative de l'effet de CONDITION ( $p=0,07$ ) trouvée pour la positivité des électrodes médiales pourrait nous indiquer que cette

positivité est présente aux électrodes antérieures. L'inspection de la décomposition (Figure12) nous indique que l'effet aux électrodes antérieures est négatif, ce qui pourrait expliquer la tendance trouvée.

Les désaccords sur les adjectifs ont induit des négativités différentes chez les deux groupes. Elles ont induit chez les adultes une négativité visuellement latéralisée à gauche et largement distribuée et même postérieure. La négativité des adolescents est plutôt centro-postérieure et ressemble à une N400. Les deux négativités différaient statistiquement, où la négativité des adolescents était plus médiale ( $p=0,001$ ) et moins latérale ( $p=0,001$ ) que celle des adultes. Les positivités induites par les deux groupes étaient centro-postérieure, et ne différaient pas significativement les unes des autres ( $p > 0,05$ ). La tendance non significative de l'interaction entre GROUPE et CONDITION ( $p=0,058$ ) pour la positivité de cette condition pourrait indiquer une possible différence d'amplitude entre les deux groupes, mais cet effet n'a pas atteint la significativité statistique et n'a pas été décomposé davantage.

## Chapitre 4 – Discussion

Le but de cette étude était d'étudier les différences dans les réponses neurophysiologiques des adultes et des adolescents québécois lors de l'écoute de phrases contenant des erreurs d'accord en genre entre le déterminant et le nom, et entre le nom et l'adjectif. Nous avons émis comme hypothèse que les conditions contenant des erreurs induiraient des patrons biphasiques pour tous les groupes, comparativement aux phrases sans erreur. Nous avons trouvé que les phrases contenant des erreurs ont induit chez les deux groupes d'âge des ondes biphasiques, comparativement aux phrases sans erreur, pour toutes les conditions.

Nous avons ensuite émis comme hypothèse que les erreurs sur les déterminants allaient induire des AN-P600 chez les adultes, et que ces composantes seraient équivalentes à celles induites pour les adolescents. Nous avons trouvé que les erreurs dans cette condition ont induit chez les deux groupes d'âge des négativités antérieures suivies de positivités qui ne différaient pas entre les groupes, ce qui supporte les hypothèses émises.

Finalement, nous avons émis comme hypothèse que les erreurs sur les adjectifs induiraient des LAN-P600 chez les adultes et des N400-P600 chez les adolescents. Nous avons trouvé que les phrases de cette condition ont induit une LN accompagnée d'une possible N400, suivie d'une positivité, chez les adultes et une N400 suivie d'une positivité, similaire à une P600, chez les adolescents. Nous avons trouvé que les négativités différaient significativement entre les groupes, ce qui n'était pas le cas pour les positivités. La réponse des adolescents est atypique pour ce genre d'erreur, mais a déjà été rapportée dans le passé (Cantiani et al., 2015; Courteau et al., 2015; Meier, 2008). Cette différence de négativité entre les adultes et les adolescents est congruente avec la littérature sur le développement du langage, où le traitement de l'accord en genre des adjectifs irréguliers pourrait encore être en développement à l'adolescence. Notamment, la N400 induite par les adolescents supporte qu'une lexicalisation du traitement de la grammaire en genre peut se produire chez des locuteurs immatures. De plus, les P600 équivalentes trouvées entre les deux groupes nous indiquent que les mécanismes sous-jacents à la P600 sont matures, alors que ceux derrière la LAN ne le sont pas. Ces données sont appuyées par la justesse des réponses à la tâche de jugement de grammaticalité, qui était équivalente entre

les deux groupes. Ces données nous indiquent finalement que, malgré une production sans erreur rapportée dans la littérature (Royle & Valois, 2010; Valois et al., 2009; Valois & Royle, 2009), tous les mécanismes sous-jacents du traitement de l'accord en genre des adjectifs en français oral ne sont pas encore matures entre 10 et 15 ans.

#### **4.1 Négativités antérieures**

Les erreurs d'accord sur les déterminants ont induit une négativité antérieure, similaire à la LAN rapporté dans la littérature. La LAN est généralement interprétée comme le reflet d'une réponse automatique à une violation d'accord, tel que décrit dans la section *potentiels évoqués*. Cependant, la véritable signification d'une LAN induite à des erreurs grammaticales est encore débattue et sa présence dans les paradigmes d'erreur d'accord est variable. Elle est induite pour certaines langues (Caffarra et al., 2014; Molinaro et al., 2011; Popov, 2022) et absente pour d'autres (Popov, 2022; Wicha et al., 2004). Néanmoins, nous avons adopté jusqu'à maintenant une perspective où la LAN, qui reflète un processus automatisé de catégorisation d'erreurs grammaticales, est contrastée à la N400, qui reflète l'accès lexical (section 4.3). Cette distinction est cohérente avec la littérature présentée jusqu'à maintenant et sera à la base des interprétations que nous donnerons pour nos résultats. (Molinaro et al., 2011; Ullman, 2004).

La présence de négativités antérieures pour les erreurs sur le déterminant et les adjectifs n'est ainsi pas surprenante. En effet, les études d'erreurs grammaticales du syntagme nominal trouvent généralement des (L)AN, indépendamment des langues, par exemple en espagnol (Barber & Carreiras, 2005), en italien (Molinaro et al., 2008; Popov et al., 2020) et en français (Gascon et al., 2011; Isel & Kail, 2018; Royle et al., 2013). Cependant, les différences qualitatives trouvées entre nos deux conditions le sont, notamment une négativité antérieure pour les déterminants et une LAN + une possible N400 pour les adjectifs. Elles ont été interprétées précédemment comme le reflet de différences sous-jacentes entre le traitement de la grammaire des déterminants et des adjectifs (Gascon et al., 2011; Royle et al., 2013).

D'autres explications potentielles peuvent être soulevées pour ces différences. Par exemple, le déroulement du traitement entre les déterminants et les adjectifs était différent dans notre protocole expérimental. La présentation séquentielle de l'image et du déterminant amorçait le genre

grammatical du nom avant même sa prononciation (Courteau et al., 2015). Cet affichage bimodal implique la mise en mémoire de travail de l'information lexicale du nom pour pouvoir le comparer à l'écoute du déterminant qui est présenté ensuite. Les violations bimodales ont généralement été induites pour des conditions lexico-sémantiques (Courteau et al., 2019; Willems et al., 2008), il est ainsi difficile de savoir de quelle façon ces différents ordres de présentation des stimuli affectent nos résultats, puisqu'il s'agit d'erreurs grammaticales. Cependant, la comparaison des deux conditions reste possible, puisqu'il s'agit dans les deux cas d'un traitement de la vérification de l'accord en genre, dû à l'affichage de l'objet avant la prononciation du déterminant.

La modalité auditive de l'étude pourrait aussi expliquer les différences qualitatives trouvées. Les distributions sur le scalp des négativités induites dans la modalité auditive sont généralement moins focales comparativement à celles trouvées par les études en modalité écrite (Gascon et al., 2011; Hahne et al., 2004; Hasting & Kotz, 2008; Isel & Kail, 2018; Molinaro et al., 2011; Popov, 2022; Royle et al., 2013). Par exemple, la négativité que Royle et al. (2013) ont trouvée dans leur condition d'erreur d'accord entre le nom et l'adjectif en modalité auditive était moins antérieure et plus latéralisée qu'une LAN typique, alors que Isel & Kail (2018) ont plutôt trouvé une négativité très frontale et bilatérale. Cette variété dans les distributions des composantes induites pourrait potentiellement expliquer les différences qualitatives trouvées.

L'inspection visuelle de la LAN induite chez les adultes par les erreurs sur les adjectifs nous montre aussi une distribution plus large que les LAN rapportées dans la littérature, et même légèrement postérieure et bilatérale, ce qui pourrait s'apparenter à une superposition entre une LAN et une N400. Les difficultés d'automatisation de l'accord de l'adjectif impliqueraient chez l'adulte une activation simultanée des systèmes procéduraux et déclaratifs. Cette activation simultanée pourrait s'expliquer par la faible transparence de l'adjectif, qui impliquerait un traitement lexical et un traitement de l'accord (Fink, 1985; Royle, 2011). Cette hypothèse est cohérente avec la littérature sur les mémoires multiples et leurs interactions, notamment entre la mémoire déclarative et la mémoire procédurale (Poldrack & Packard, 2003; Ullman, 2004).

En somme, nous avons trouvé que des négativités latérales et antérieures entre 300 et 500 ms étaient induites pour les désaccords sur les déterminants pour les deux groupes d'âge et pour les

désaccords sur les adjectifs pour les adultes. Des différences qualitatives sur les distributions topographiques ont aussi été trouvées. Notamment, la LAN induite chez les adultes par les erreurs sur les déterminants était plus antérieure et moins latérale, comparativement à celle des adolescents. Ces différences pourraient s'expliquer, entre autres, par la modalité auditive de notre tâche, qui induit des négativités moins focalisées. De plus, la distribution de la LAN trouvée chez les adultes pour les erreurs sur l'adjectif laisse croire qu'une N400 est aussi présente. Ceci est cohérent avec la littérature sur la compétition des systèmes mnésiques, qui stipule qu'une interaction entre les systèmes est possible. Finalement, une investigation des contextes d'apparition de la N400 dans la section 4.3 permettra d'expliquer en partie pourquoi elle aurait été induite par les adultes pour les désaccords sur les adjectifs.

## **4.2 Positivités tardives**

Nous avons trouvé que les erreurs d'accord en genre induisaient dans nos deux conditions et nos deux groupes d'âges une onde positive significative entre 675-110 ms pour les adultes, et entre 800 et 1200 ms pour les adolescents, que nous interprétons comme des P600. Les P600 ont été rapportées presque systématiquement dans les études s'intéressant à la grammaire et à la syntaxe (Molinaro et al., 2011; Steinhauer & Connolly, 2008). Cependant, la véritable interprétation de la P600 dans le traitement grammatical est encore débattue. Entre autres, les P600 ont généralement été associées à une LAN les précédant, menant les auteurs à interpréter les P600 comme un indice de réparation et de réanalyses d'une phrase suivant la perception (via la LAN) d'une incongruence morpho-syntaxique ou grammaticale (Molinaro et al., 2011; Popov, 2022; Steinhauer & Connolly, 2008). Cette interprétation est congruente avec les résultats trouvés chez les adultes, et pour les erreurs d'accord déterminant-nom chez les adolescents. Cependant, comme elle a été induite par les erreurs d'accord nom-adjectif chez les adolescents, qui était précédée d'une N400, nous constatons que la P600 peut aussi suivre une N400. Les P600 précédées par des N400 ont été investiguées en profondeur par Aurnhammer et al. (2023) et Brouwer et al. (2017). En étudiant des erreurs de rôle thématique, ils sont arrivés à la conclusion que les P600 précédées de N400 pouvaient être interprétées de la même façon que les P600 trouvées dans les contextes syntaxiques et grammaticaux. De plus, les P600 ne sont pas toujours précédées d'une négativité (Osterhout & Holcomb, 1992; Steinhauer & Connolly, 2008). Ceci n'est

pas surprenant, considérant que les premières études qui se sont intéressées à la P600 n'ont pas examiné la fenêtre de temps précoces (Osterhout & Holcomb, 1992). L'onde biphasique N400-P600 trouvée chez les adolescents n'est ainsi pas problématique pour notre interprétation de la P600.

Un lien entre l'attention et la P600 a aussi été investigué précédemment. Par exemple, Royle et al. (2013) ont contrasté les composantes induites par des erreurs d'accord en genre avec une tâche de jugement de grammaticalité et celles induites sans cette tâche. Ils ont trouvé que les P600 induites sans la tâche étaient de plus basse amplitude et moins distribuées que celles induites par la tâche. Cela indique qu'il s'agit d'une composante induite par les stimuli langagiers, et que l'attention dirigée vers l'erreur influence l'amplitude de la composante. L'émergence de la composante ne requerrait pas une attention explicite dirigée vers l'erreur. Hasting & Kotz (2008) ont trouvé des résultats qui vont dans la même direction. Leur paradigme impliquait une tâche de jugement de grammaticalité suivant des erreurs d'accord sujet-verbe en allemand (p. ex. *er \*ruderst* « il \*rament »). Cette condition a induit des P600 entre 300 ms et 800 ms. Ils ont ensuite réutilisé ces stimuli dans une autre condition d'écoute passive d'un film distracteur, sans tâche associée. Elles n'ont pas trouvé de P600 pour cette condition, indiquant que la P600 est réellement sensible à l'attention. La P600 serait un processus conscient de réparation et d'intégration de l'information (Hahne & Friederici, 1999; Steinhauer & Connolly, 2008). Les contextes présentés jusqu'à maintenant supportent cette interprétation.

Nous avons trouvé que les P600 induites chez les adultes et les adolescents étaient équivalentes en amplitude et en distribution topographique. Ceci n'est pas surprenant, car des P600 ont été induites par des erreurs grammaticales chez les enfants, dès 6 ans (Schipke et al., 2011) et presque systématiquement pour les adolescents de plus de 10 ans (Atchley et al., 2006; Cantiani et al., 2015; Meier, 2008; Weber-Fox et al., 2010). Les mécanismes sous-jacents à la P600 atteindraient ainsi un niveau quasi mature tôt dans le développement de la grammaire, et seraient complètement matures à l'adolescence. Il est bon cependant de noter que la première apparition de la P600 a une latence généralement plus lente chez les enfants, comparativement à celle des adultes, tel qu'illustré dans la Figure 5. Nous avons décidé dans ce projet de ne pas tenir compte des différences de latence dans nos interprétations. Cependant, nous pouvons voir sur la figure

10 que la P600 induite chez les enfants par les désaccords sur les déterminants surgit plus tôt que nous l'avons analysée. Cette fenêtre de temps serait comparable à celle des adultes et compatible avec les interprétations données. La figure 14 montre en revanche que la P600 induite chez les adolescents par les désaccords sur les adjectifs est effectivement tardive, comparativement à celle des adultes. Cette latence pourrait indiquer que les mécanismes sous-jacents à la P600 ne sont en réalité pas matures à cet âge, ou pour ce traitement en particulier. Une inspection de l'onde induite par cette condition montre cependant que la forte amplitude de la négativité précédant la P600 pourrait causer ce délai. Des analyses supplémentaires devront être faites pour investiguer davantage cette différence de latence. L'absence de différence statistique entre les positivités des deux groupes nous indique cependant qu'elles sont comparables, malgré des différences de latences.

En somme, nous avons trouvé des positivités précédées de négativités dans toutes nos conditions. Toutes ces positivités, sauf celle induite chez les adolescents par les désaccords sur les adjectifs, étaient précédées de négativités antérieures, ce qui est congruent avec la littérature (Hahne & Friederici, 1999; Royle et al., 2013; Steinhauer & Connolly, 2008). Le patron N400-P600 induit par les erreurs nom-adjectif chez les adolescents est atypique, n'est pas nouveau dans la littérature (Aurnhammer et al., 2023; Brouwer et al., 2017; Kim & Osterhout, 2005). Les positivités trouvées pour le groupe des adultes et des adolescents étaient équivalentes, soutenant que le processus conscient de réparation et de réintégration d'une phrase contenant une erreur grammaticale est mature à ce stade du développement.

### **4.3 Erreurs d'accord sur l'adjectif**

Nous avons trouvé que les erreurs nom-adjectif ont induit chez les adolescents des N400. Cette composante est atypique pour les erreurs grammaticales, mais n'est pas nouvelle dans la littérature, même chez l'adulte en santé. Par exemple, Coulson et al. (1998) ont utilisé un protocole d'erreur d'accord sujet-verbe en anglais (p. ex. *Every Monday, he \*mow the lawn* 'Chaque lundi, il \*tondent la pelouse') et d'erreur de pronoms (p. ex. *Ray fell down and skinned \*he knee* 'Ray est tombé et a blessé \*il genou') avec pour intention d'examiner les P600 induites par ces conditions. Surprenamment, les erreurs sujet-verbe ont plutôt induit des N400 suivies de

P600, plutôt que le patron LAN-P600 qui était attendu et qui a été induit par les erreurs de pronoms. Ils ont attribué cette N400 à la faible saillance morphologique des marqueurs de nombre verbaux en anglais. Ils spécifient le faible contenu sémantique des marques en nombre sur les verbes et leur redondance, comparativement aux pronoms qui sont nécessaires à la compréhension de la phrase. Finalement, ils attribuent les différents patrons aux différences de sollicitation de la mémoire de travail pour le traitement. Des interprétations similaires des N400 syntaxiques trouvés chez des adultes typiques ont été rapportées précédemment, pour des erreurs de nombre d'arguments en allemand (p. ex. *\*Anna weiss, dass der Komissar den \*Banker abreiste und wegging* «Anna sait que l'inspecteur le \*banquier a quitté et est parti »)(Friederici & Frisch, 2000), et des erreurs d'accord sujet-verbe et sémantiques (Kim & Osterhout, 2005; Kolk et al., 2003). Ces résultats, bien que similaires à la N400 trouvée dans notre expérience, ne sont pas complètement compatibles à la description de la N400 que nous avons adoptée dans cette étude, où il s'agit d'un marqueur de traitement lexical, tel que décrit dans le modèle déclaratif-procédural. De plus, notre expérience ne contenait aucune ambiguïté sémantique qui aurait pu expliquer les N400, contrairement aux résultats de Kim & Osterhout (2005) et de Kolk et al. (2003).

Des N400 similaires à celles trouvées dans notre étude ont été trouvées par Weyerts et al. (1997) et Lück et al. (2001). Weyerts et al. (1997) ont utilisé un paradigme de surgénéralisation de l'accord en nombre sur les noms en allemand. En allemand, l'affixe de nombre *-s* serait régulier, utilisé par défaut, alors que *-n* serait irrégulier. Dans leur condition l'affixe régulier *-s* était incorrectement affixé à un nom prenant le *-n* (p. ex. *Im Sporthemd zeigen sich seine staehlernen \*Muskels* 'On peut voir ses \*muscles d'acier sous sa camisole'), et le contraire avec des irrégularisations (p. ex. *Nicht ganz ungefaehrlich sind die modernen \*Karussellen* 'Ce qui n'est pas sécuritaire sont les \*carrousels modernes'). Ils ont trouvé que les conditions de régularisation induisaient des LAN, comparativement aux conditions correctes, alors que les irrégularisations induisaient des N400. Ils ont interprété ces résultats comme soutenant les modèles à deux voies du traitement grammatical. Les formes fléchies irrégulières (p. ex. *Muskeln* 'muscles') sont encodées en mémoire lexicale séparément de leur radical. Ainsi, les erreurs de régularisation sont une application erronée de la règle d'accord, ce qui expliquerait la LAN induite, car elle est

associée au traitement de règles régulières ou par défaut. Les formes fléchies régulières (p. ex. *Karussels* 'carrousel') ne sont pas encodées séparément en mémoire lexicale. Les suffixes non productifs, comme *-n*, ne seraient pas décomposés lors du traitement, et la présence de cet affixe mènerait à un traitement lexical ou supplétif. Ainsi, les erreurs d'irrégularisation (p. ex. *\*Karussellen*) doivent être traitées lexicalement, ce qui explique la N400. Ces résultats ont été répliqués en modalité auditive par Lück et al. (2001) où une N400 a été trouvée pour les irrégularisations et une LAN a été trouvée pour les régularisations. Ces résultats soutiennent les modèles à deux voies soulevés par Pinker et Ullman (2002) où l'accord régulier est traité via des règles et l'accord irrégulier supplétivement. Cette interprétation permettrait d'expliquer dans nos résultats la N400 induite par les erreurs d'accord en genre sur les adjectifs dans notre groupe d'adultes, qui était superposée à une LAN. Les mêmes explications pourraient être données pour la N400 trouvée pour notre groupe d'adolescents; les adjectifs, qui sont irréguliers, doivent être traités lexicalement, ce qui est caractérisé par une N400.

Les N400 trouvée dans les études s'intéressant aux populations avec des troubles langagiers pourraient nous expliquer pourquoi il semble y avoir un changement dans le passage de l'adolescence à l'âge adulte. Tel que décrit dans la section *traitement grammatical à l'adolescence*, Cantiani et al. (2015) ont trouvé des N400-P600 chez des enfants de 8-13 ans atteints de dyslexie-dysorthographe (DD). Ils interprètent les résultats comme « reflétant la récupération de règles explicites ou de formes explicites dans le but de compenser pour des difficultés dans la construction implicite de règles pour la manipulation de la morphologie flexionnelle » (p. 307). Ces explications et ces résultats sont cohérents avec les données d'adultes ayant aussi un trouble de DD (Cantiani et al., 2013). Weber-Fox et Hampton (2008) se sont intéressés aux adultes qui bégaient. En utilisant un protocole similaire à Weber-Fox et al. (2010) présenté dans la section *accord grammatical à l'adolescence*, ils ont étudié les erreurs grammaticales en anglais oral (p. ex. *Everyday, the children \*pretends to be superheroes* 'À tous les jours, les enfants \*prétend être des super-héros') et ont trouvé que ces erreurs ont induit chez les adultes qui bégaient un patron N400-P600 similaire à celui trouvé dans ce projet. Ils interprètent cette réponse atypique pour des erreurs grammaticales comme le reflet de l'engagement de la sémantique et de la syntaxe dans le traitement des verbes, spécifiquement

dans le traitement de la morphologie des verbes en anglais. Ils argumentent que la N400 est ici indicative de stratégies de traitement utilisées par les adultes qui bégaièrent pour traiter les phrases plus complexes. Notamment, ils auraient un recours supplémentaire à l'information sémantique pour traiter des constructions morphosyntaxiques relativement simples comparativement à des adultes en santé qui utiliseraient seulement ces stratégies pour des constructions plus complexes. Ces deux interprétations sont intéressantes, puisqu'elles nous indiquent qu'un traitement sémantique peut émerger à la place (Cantiani et al., 2015) ou conjointement (Weber-Fox et al., 2010) au traitement syntaxique, chez des participants atypiques.

Des N400 « syntaxiques » ont aussi été induites chez des locuteurs natifs toujours en apprentissage. Tel que décrit dans la section *traitement grammatical à l'enfance*, Courteau et al. (2015) ont utilisé les mêmes stimuli que la présente étude sur une population de jeunes québécois de 4-8 ans. Ils ont trouvé que les erreurs d'accord en genre sur les adjectifs en français oral induisaient chez ces participants une négativité distribuée suivie par une positivité non significative. Ils ont interprété ce patron comme une LAN-P600, comme chez les adultes (Royle et al., 2013), mais la distribution topographique de la négativité ne permet pas tout à fait d'interpréter la négativité comme une LAN, mais plutôt comme une N400, ou même une superposition d'une LAN et d'une N400. La présence d'une N400 suivie d'une P600 chez les plus jeunes est similaire à la réponse induite chez les adolescents dans notre projet. Courteau et al. (2015) interprètent les différentes réponses trouvées entre les adultes et les enfants comme le reflet de l'immaturité du traitement de l'accord chez les enfants. Cependant, aucune interprétation supplémentaire n'est donnée pour expliquer la présence d'une N400 induite pour une incongruité grammaticale. Ensuite, Meier (2008) a aussi observé une « N400 grammaticale » pour son groupe d'adolescents. Meier a présenté des erreurs d'accord sujet-verbe à des adolescents anglophones âgés de 14–18 ans. Elle a trouvé que les adolescents montraient une N400 lorsqu'ils étaient comparés aux adultes. Selon elle, ces résultats reflèteraient une immaturité de la grammaire pour ce groupe. Le protocole utilisé par Meier (2008) était le même que Weber-Fox et Hampton (2008). Ils ont trouvé des résultats similaires, mais pour deux populations différentes. Les deux interprétations pourraient être réconciliées, puisque les N400 trouvées pour les adultes qui bégaièrent de Weber-Fox et Hampton (2008) étaient attribuées à des

difficultés de traitement grammatical et à un traitement lexicalisé dû à la pathologie. Les effets de la pathologie sur le traitement grammatical pourraient être comparables à ceux de l'immaturation, chez les participants adolescents de Meier (2008) ainsi que les nôtres. L'immaturation et le bégaiement mèneraient à une grammaire qui n'est pas optimale, et qui a recours à la sémantique comme mécanisme de compensation. Finalement, Clahsen et al. (2007) ont trouvé que la surgénéralisation des noms en allemand ont induit chez des enfants de 6-7 ans une négativité largement distribuée, qu'ils interprètent comme une N400 superposée d'une possible LAN. Ils interprètent ce patron comme la compétition entre un traitement lexicalisé et la règle d'accord « immature ». Cette interprétation est compatible avec la LAN superposée d'une N400 observée chez nos adultes. La compétition entre un traitement sémantique et grammatical serait reflétée par la présence des deux composantes qualitativement différentes. La N400 trouvée pour nos adolescents est compatible avec cette interprétation. En effet, l'absence de la LAN indique que cette compétition n'est pas présente à ce stade du développement et que la grammaire serait seulement traitée lexicalement. Ainsi, les N400 induites par les plus jeunes rapportées dans la littérature nous permettent d'interpréter celles trouvées dans nos résultats comme une immaturité de la grammaire.

Des N400 induites par des stimuli grammaticaux sont aussi rapportés dans la littérature, pour une population des locuteurs de langue seconde (L2). Similairement à ce qui est présenté dans la 0 (p. 35), un patron développemental est présent chez les apprenants de langue seconde et les réponses électrophysiologiques induites par la morphosyntaxe sont liées au niveau de compétence de la langue (pour une revue, voir Steinhauer et al., 2009; Steinhauer, 2014, et Antonicelli & Rastelli 2023). Des N400 peuvent être induites chez les apprenants L2 par la morphosyntaxe lorsque leur compétence grammaticale est relativement faible (Morgan-Short et al., 2012; Osterhout et al., 2006; C. M. Weber-Fox & Neville, 1996) et même parfois haute (Morgan-Short et al., 2010). Certains interprètent les N400 « syntaxiques » trouvées comme un traitement lexicalisé de la grammaire, avant qu'une « grammaticalisation », ou une automatisation du traitement grammatical, s'opère (Osterhout et al., 2006). Cette interprétation serait cohérente avec les résultats trouvés dans notre étude, où l'automatisation de l'accord plus difficile des adjectifs en français n'est toujours pas terminée à l'adolescence.

Finalement, un patron N400-P600 n'est pas nouveau dans la littérature. Les résultats des N400 trouvées chez les participants atteints de troubles langagiers, chez les enfants et chez les apprenants d'une langue seconde peuvent nous aider à mieux comprendre la signification de la N400 trouvée dans nos résultats. Principalement, que ces N400 marquent un traitement de la grammaire qui ne semble pas être automatisée et qui pourrait être de nature déclarative. Les résultats des apprenants L2 et des enfants 0 (p.35) nous indiquent aussi qu'une évolution de la grammaire est présente, ce qui pourrait expliquer pourquoi nous avons trouvé des résultats différents entre les adolescents et les adultes.

#### **4.4 Comparaison entre les adultes et les adolescents**

Nous avons trouvé des différences significatives entre les négativités induites par les erreurs nom-adjectif chez les adolescents et celles induites chez les adultes, spécifiquement, les désaccords nom-adjectif ont induit chez les adolescents une N400 et une LAN + possible N400 chez les adultes. Ces résultats indiquent un changement dans les mécanismes sous-jacents de l'accord grammatical des adjectifs de l'adolescence à l'âge adulte. Nous avons interprété les N400 trouvées comme le reflet d'un accès lexical lors du traitement grammatical. Ainsi, le changement d'une N400 vers une LAN pourrait représenter une automatisation du traitement de l'accord (Molinaro et al., 2011). L'automatisation de l'accord a été étudiée précédemment à l'aide de paradigmes d'attraction (p. ex. *Le cuisinier des délicieux restaurants \*font des gâteaux*, Franck et al., 2004). L'attraction est interprétée comme une automatisation des mécanismes d'accord, car ces erreurs reflètent l'absence de vérification consciente de l'accord. Ces erreurs apparaissent en production généralement entre 7 et 9 ans chez les francophones (Franck et al., 2004). Cependant, nous avons conclu qu'une disparité était présente entre les évidences comportementales et les réponses neurophysiologiques. Bien que la production non erronée des adjectifs de couleur soit présente dès 6 ans, il serait probable que les mécanismes sous-jacents de l'accord ne soient pas encore automatisés avant la fin de l'adolescence, et même à l'âge adulte. Cette automatisation pourrait expliquer les changements qualitatifs observés dans les distributions topographiques des potentiels évoqués des adolescents, une N400, et des adultes, une LAN + une possible N400.

Finalement, bien que nous puissions postuler qu'une automatisation de l'accord s'opère au cours de l'adolescence, les résultats qualitatifs des adultes trouvés dans cette étude, notamment la distribution topographique de la négativité, nous montrent que l'automatisation de l'accord de l'adjectif pourrait ne pas être parfaite à l'âge adulte. Comparativement aux réponses induites par les désaccords sur les déterminants, qui eux corroborent avec la littérature. Tel qu'interprété dans Weber-Fox & Hampton (2008), la compétition entre la mémoire déclarative et procédurale peut être présente lorsque les règles d'accord ne peuvent être automatisées. Cette compétition peut aussi être essentielle au traitement des traits de grammaires plus opaques, comme l'accord en genre en français (Ullman, 2004). La superposition d'une LAN et d'une N400, telle que visible sur les réponses induites chez les adultes par les désaccords nom-adjectif, nous montre que le traitement de cette grammaire serait automatisé, mais qu'un accès lexical serait aussi nécessaire. Cette compétition pourrait être expliquée par la haute opacité de l'accord en genre des adjectifs, qui limite l'automatisation de la vérification des marqueurs du genre. Cette interprétation est une explication potentielle aux différences trouvées entre les réponses induites par les erreurs sur les adjectifs et les déterminants en français. Cette interprétation nous donne aussi une explication potentielle face à pourquoi la grammaire des adjectifs est toujours en consolidation à l'adolescence et pourquoi le traitement des déterminants est mature.

En somme, une maturation de la grammaire s'opère durant le passage de l'adolescence à l'âge adulte, qui est perceptible dans les réponses électrophysiologiques induites par les incongruences nom-adjectif, notamment une N400 pour les adolescents et une LAN + une N400 pour les adultes. L'adolescence est une période de maturation et des capacités cognitives, telle la mémoire de travail et les capacités exécutives. De plus, la précision de la maturation de l'accord demande davantage de recherche, particulièrement la question de règles productives et d'automatisation, qui sont des questions encore présentes dans la littérature. Cependant, qu'il s'agisse d'une automatisation de la grammaire ou l'extraction de la règle morphophonologique de l'accord de l'adjectif, nous pouvons soulever la faible transparence de la grammaire en genre comme un acteur potentiel dans la maturation plus lente de cette grammaire, comparativement à celle des déterminants, qui elle est mature à l'adolescence.

## Chapitre 5 – Conclusion

Le but de cette étude était de comparer, en utilisant les potentiels évoqués, le traitement de l'accord en genre en modalité auditive chez des adolescents et des adultes québécois avec l'accord en genre sur classes grammaticales : le déterminant et l'adjectif. Bien que la production de l'accord en genre de l'adjectif et du déterminant semble être comparable à celle de l'adulte à l'adolescence, la littérature ne converge pas sur les réponses électrophysiologiques sous-jacentes qui sous-tendent l'accord. Ces divergences nous ont menés à nous questionner sur les différents patrons induits par des erreurs d'accord sur l'adjectif, qui ont une marque du féminin particulièrement opaque. Nous avons trouvé que les adultes et que les adolescents montraient un patron (L)AN-P600 similaire pour les erreurs d'accord sur le déterminant. Cependant, l'adjectif opaque a induit une N400-P600 chez l'adolescent et une LAN+N400 suivie d'une P600 chez l'adulte, ce qui nous mène à en conclure que le traitement de l'accord de l'adjectif n'est pas mature à l'adolescence. De plus, la N400 trouvée nous permet d'émettre comme hypothèse qu'un traitement grammatical immature serait caractérisé par une lexicalisation du traitement des formes adjectivales féminines et masculines.

Certaines limitations doivent cependant être considérées. Premièrement, notre inventaire d'adjectifs était limité. Des adjectifs de couleur ont été utilisés dans cette étude, car le protocole a originalement été développé pour une population de jeunes enfants. L'inventaire des adjectifs connus par les adolescents est plus vaste que seulement les adjectifs couleur, et l'utilisation d'un plus grand inventaire d'items permettrait d'étendre les résultats trouvés dans cette étude. Deuxièmement, les conclusions émises sur le lien la transparence et la maturation pourront être mieux comprises en manipulant de façon plus rigoureuse les items adjectivaux pour la transparence. Notamment, en comparant 1) des adjectifs marqués au féminin par une consonne qui se retrouve aussi dans des adjectifs épicènes (p. ex. *brune* [bʁyn] et *jaune* [ʒon]) et 2) des adjectifs avec des terminaisons de prédictibilité différentes (p. ex. pour la marque du féminin [z], 99% des adjectifs masculins se terminant en [œ] 65% des adjectifs terminant en [ɛ]). Troisièmement, des analyses séparées des erreurs d'omission (p. ex. *la chaise \*vert*) et de commission (p. ex. *le chapeau \*grise*) n'ont pas été effectuées dans pour ce projet. Ces analyses

seront à faire dans le futur, puisque le type d'erreur induit des PÉs différents (Dubé et al., 2019). Quatrièmement, la tranche d'âge utilisée pour le groupe des adultes ne nous permet pas de saisir précisément à quel moment la grammaire atteint la maturité, et si tous les aspects grammaticaux atteignent la maturité au même moment, dans toutes les langues. Les résultats trouvés pour la condition des adjectifs des adultes (LAN + N400) pourraient être attribués à la grande marge d'âge de ces participants (19-40 ans), où les plus jeunes du groupe pourraient avoir une réponse différente des plus âgés. La littérature future devra davantage s'intéresser aux changements continus, par le biais de la variable d'âge, plutôt que de comparer des groupes d'âge différents. Cette perspective permettrait de plus adéquatement visualiser la maturation continue de la grammaire, et de diminuer les biais induits par des marges d'âge trop grandes ou non représentatives du groupe en question. Finalement, les résultats trouvés, particulièrement la N400 induite chez les adolescents par les erreurs de l'adjectif, nous ont menés à dire que cette réponse était due à l'immaturité du traitement grammatical de ce groupe. Présentement, cette interprétation n'est valide que pour cet aspect grammatical de la langue française. Des comparaisons avec les grammaires des autres langues, notamment des grammaires hautement opaques, nous permettraient d'accroître la validité de cette interprétation.

En somme, cette étude a permis d'observer des contextes dans lesquelles un profil biphasique N400-P600 peut être trouvé. Ce profil trouvé chez les adolescents nous permet d'induire que le traitement de l'accord en genre de l'adjectif irrégulier en français des jeunes de 10-16 ans n'est pas mature. Bien que ces résultats ne s'appliquent qu'à la grammaire de la langue française, les études futures permettront de faire les parallèles avec les autres langues et les autres types de traitement grammatical, qui permettront d'avoir une meilleure compréhension du développement de la grammaire. Finalement, les différents patrons trouvés pour nos deux conditions, les déterminants et les adjectifs, nous montrent aussi que tous les aspects grammaticaux n'atteignent pas la maturité au même moment, particulièrement puisque les réponses induites par les déterminants chez les adultes et les adolescents étaient équivalentes, ce qui nous indique que certains processus grammaticaux sont matures à cet âge et d'autres sont toujours en consolidation.

## Références bibliographiques

- Aksenov, A. T. (1984). On the problem of the extralinguistic motivation of grammatical gender. *Voprosy jazykoznanija*, 1, 14-25.
- Albright, A. (2002). Islands of Reliability for Regular Morphology: Evidence from Italian. *Language*, 78(4), 684-709. <https://doi.org/10.1353/lan.2003.0002>
- Albright, A., & Hayes, B. (2002). Modeling english past tense intuitions with minimal generalization. *Proceedings of the ACL-02 workshop on Morphological and phonological learning - Volume 6*, 58-69. <https://doi.org/10.3115/1118647.1118654>
- An, A., & Abeillé, A. (2022). Closest conjunct agreement with attributive adjectives. *Journal of French Language Studies*, 32(3), 273-300. <https://doi.org/10.1017/S0959269521000193>
- Antonicelli, G., & Rastelli, S. (2023). Event-related potentials in the study of L2 sentence processing: A scoping review of the decade 2010-2020. *Language Acquisition*, 30(2), 163-200. <https://doi.org/10.1080/10489223.2022.2141633>
- Aronoff, M., & Fudeman, K. (2011). *What is Morphology?* John Wiley & Sons.
- Arslan, S., Broc, L., Olive, T., & Mathy, F. (2020). Reduced deficits observed in children and adolescents with developmental language disorder using proper nonverbalizable span tasks. *Research in Developmental Disabilities*, 96, 103522. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2019.103522>
- Atchley, R. A., Rice, M. L., Betz, S. K., Kwasny, K. M., Sereno, J. A., & Jongman, A. (2006). A comparison of semantic and syntactic event related potentials generated by children and adults. *Brain and Language*, 99(3), 236-246. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2004.04.003>
- Aurnhammer, C., Delogu, F., Brouwer, H., & Crocker, M. W. (2023). The P600 as a continuous index of integration effort. *Psychophysiology*, e14302. <https://doi.org/10.1111/psyp.14302>
- Baayen, H., Davidson, D., & Bates, D. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59, 390-412. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.12.005>
- Barber, H., & Carreiras, M. (2005). Grammatical gender and number agreement in Spanish: An ERP comparison. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(1), 137-153. <https://doi.org/10.1162/0898929052880101>
- Barr, D. J., Levy, R., Scheepers, C., & Tily, H. J. (2013). Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal. *Journal of memory and language*, 68(3), 10.1016/j.jml.2012.11.001. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2012.11.001>
- Bauer, L. (2003). *Introducing linguistic morphology*. (2nd ed.). Georgetown University Press.

- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Event-related potentials, lexical decision and semantic priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60(4), 343-355.  
[https://doi.org/10.1016/0013-4694\(85\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0013-4694(85)90008-2)
- Bloomfield, L. (1984). *Language*. University of Chicago Press.
- Broc, L., Joye, N., Dockrell, J., & Olive, T. (2021). Capturing the Nature of the Spelling Errors in Developmental Language Disorder: A Scoping Review. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 52(4), 1127-1140. [https://doi.org/10.1044/2021\\_LSHSS-20-00086](https://doi.org/10.1044/2021_LSHSS-20-00086)
- Brouwer, H., Crocker, M. W., Venhuizen, N. J., & Hoeks, J. C. J. (2017). A Neurocomputational Model of the N400 and the P600 in Language Processing. *Cognitive Science*, 41(S6), 1318-1352.  
<https://doi.org/10.1111/cogs.12461>
- Budd, M.-J., Paulmann, S., Barry, C., & Clahsen, H. (2013). Brain potentials during language production in children and adults: An ERP study of the English past tense. *Brain and Language*, 127(3), 345-355.  
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.12.010>
- Budd, M.-J., Paulmann, S., Barry, C., & Clahsen, H. (2015). Producing morphologically complex words: An ERP study with children and adults. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 12, 51-60.  
<https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.11.002>
- Butterworth, B. (1983). Lexical representation. Dans *Language production* (Vol. 2). Academic Press.
- Caffarra, S., Janssen, N., & Barber, H. A. (2014). Two sides of gender: ERP evidence for the presence of two routes during gender agreement processing. *Neuropsychologia*, 63, 124-134.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.016>
- Cantiani, C., Lorusso, M. L., Perego, P., Molteni, M., & Guasti, M. T. (2015). Developmental Dyslexia With and Without Language Impairment: ERPs Reveal Qualitative Differences in Morphosyntactic Processing. *Developmental Neuropsychology*, 40(5), 291-312. <https://doi.org/10.1080/87565641.2015.1072536>
- Cantiani, C., Lorusso, M., Perego, P., Massimo, M., & Guasti, M. T. (2013). Event-related potentials reveal anomalous morphosyntactic processing in developmental dyslexia. *Applied Psycholinguistics*, 34.  
<https://doi.org/10.1017/S0142716412000185>
- Caramazza, A., Laudanna, A., & Romani, C. (1988). Lexical access and inflectional morphology. *Cognition*, 28(3), 297-332. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(88\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0010-0277(88)90017-0)
- Clahsen, H. (1999). Lexical entries and rules of language: A multidisciplinary study of German inflection. *The Behavioral and Brain Sciences*, 22(6), 991-1013; discussion 1014-1060.  
<https://doi.org/10.1017/s0140525x99002228>
- Clahsen, H., Eisenbeiss, S., Hadler, M., & Sonnenstuhl, I. (2001). The Mental Representation of Inflected Words : An Experimental Study of Adjectives and Verbs in German. *Language*, 77, 510-543.  
<https://doi.org/10.1353/lan.2001.0140>
- Clahsen, H., Lück, M., & Hahne, A. (2007). How children process over-regularizations: Evidence from event-related brain potentials\*. *Journal of Child Language*, 34(3), 601-622.  
<https://doi.org/10.1017/S0305000907008082>

- Corbett, G. G. (1991). *Gender*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139166119>
- Corbett, G. G. (2017). Morphology and Agreement. Dans *The Handbook of Morphology* (p. 191-205). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781405166348.ch9>
- Cornish, F. (1994). Agreement and discourse: From cohesion to coherence. *Journal of French Language Studies*, 4(2), 191-213. <https://doi.org/10.1017/S0959269500002222>
- Coulson, S., King, J. W., & Kutas, M. (1998). Expect the unexpected: Event-related brain response to morphosyntactic violations. *Language and Cognitive Processes*, 13(1), 21-58. <https://doi.org/10.1080/016909698386582>
- Courteau, É., Martignetti, L., Royle, P., & Steinhauer, K. (2019). Eliciting ERP Components for Morphosyntactic Agreement Mismatches in Perfectly Grammatical Sentences. *Frontiers in Psychology*, 10, 1152. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01152>
- Courteau, E., Steinhauer, K., & Royle, P. (2015). L'acquisition du groupe nominal en français et de ses aspects morpho-syntaxiques et sémantiques : Une étude de potentiels évoqués. *Glossa*, 77-93.
- Demuth, K., & Tremblay, A. (2008). Prosodically-conditioned variability in children's production of French determiners. *Journal of child language*, 35, 99-127.
- Desrochers, A., Paivio, A., & Desrochers, S. (1989). L'effet de la fréquence d'usage des noms inanimés et de la valeur prédictive de leur terminaison sur l'identification du genre grammatical. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 43(1), 62. <https://doi.org/10.1037/h0084253>
- Dube, S., Kung, C., Brock, J., & Demuth, K. (2019). Perceptual salience and the processing of subject-verb agreement in 9–11-year-old English-speaking children : Evidence from ERPs. *Language Acquisition*, 26(1), 73-96. <https://doi.org/10.1080/10489223.2017.1394305>
- Duncan, L. G., Casalis, S., & Colé, P. (2009). Early metalinguistic awareness of derivational morphology : Observations from a comparison of English and French. *Applied Psycholinguistics*, 30(3), 405-440. <https://doi.org/10.1017/S0142716409090213>
- Durand, M. (1936). *Le genre grammatical en français parlé*. Paris: d'Artrey.
- Elin Thordardottir, Kehayia, E., Mazer, B., Lessard, N., Majnemer, A., Sutton, A., Trudeau, N., & Chilingaryan, G. (2011). Sensitivity and specificity of French language and processing measures for the identification of primary language impairment at age 5. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 54(2), 580-597. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010/09-0196\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2010/09-0196))
- Fiebach, C. J., Schlesewsky, M., & Friederici, A. D. (2002). Separating syntactic memory costs and syntactic integration costs during parsing: The processing of German WH-questions. *Journal of Memory and Language*, 47(2), 250-272. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(02\)00004-9](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(02)00004-9)
- Fink, R. (1985). French adjective morphophonemic patterns: Their generalization and representation. *Linguistics*, 23(4), 567-596. <https://doi.org/10.1515/ling.1985.23.4.567>
- Franck, J., Cronel-Ohayon, S., Chillier, L., Frauenfelder, U. H., Hamann, C., Rizzi, L., & Zesiger, P. (2004). Normal and pathological development of subject-verb agreement in speech production: A study on French children. *Journal of Neurolinguistics*, 17(2), 147-180. [https://doi.org/10.1016/S0911-6044\(03\)00057-5](https://doi.org/10.1016/S0911-6044(03)00057-5)

Frauenfelder, U. H., & Schreuder, R. (1992). Constraining psycholinguistic models of morphological processing and representation: The role of productivity. Dans G. Booij & J. van Marle (Éds.), *Yearbook of Morphology 1991* (p. 165-183). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-2516-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-011-2516-1_10)

Friederici, A. D., & Frisch, S. (2000). Verb argument structure processing: The role of verb-specific and argument-specific information. *Journal of Memory and Language*, 43(3), 476-507. <https://doi.org/10.1006/jmla.2000.2709>

Fromont, L. A., Steinhauer, K. & Royle, P. (2020). Verbing nouns and nouning verbs: Using a balanced design provides ERP evidence against “syntax-first” approaches to sentence processing. *PLOS ONE*, 15, e0229169

Fromont, L. A., Royle, P., & Steinhauer, K. (2021). Growing Random Forests reveals that exposure and proficiency best account for individual variability in L2 (and L1) brain potentials for syntax and semantics. *Brain and Language*, 204, 104770. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2020.104770>

Gascon, A., Lebel, V., Royle, P., Drury, J., & Steinhauer, K. (2011). *Task effects in event related potentials for semantics and gender in French*. 10th Symposium of Psycholinguistics.

Gougenheim, G., Michéa, R., Rivenc, P., & Sauvageot, A. (1964). *L'élaboration du français fondamental, 1er degré étude sur l'établissement d'un vocabulaire et d'une grammaire de base* (Nouvelle édition refondue et augmentée). Didier.

Grimaldi, M., Shtyrov, Y., & Brattico, E. (2023). *Language Electrified: Principles, Methods and Future Perspectives of Investigations*.

Hahne, A., Eckstein, K., & Friederici, A. D. (2004). Brain signatures of syntactic and semantic processes during children's language development. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(7), 1302-1318. <https://doi.org/10.1162/0898929041920504>

Hahne, A., & Friederici, A. D. (1999). Electrophysiological evidence for two steps in syntactic analysis. Early automatic and late controlled processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(2), 194-205. <https://doi.org/10.1162/089892999563328>

Hasting, A. S., & Kotz, S. A. (2008). Speeding up syntax: On the relative timing and automaticity of local phrase structure and morphosyntactic processing as reflected in event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(7), 1207-1219. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20083>

Hockett, C. F. (1958). *A Course in Modern Linguistics*. Macmillan.

Isel, F., & Kail, M. (2018). Morphosyntactic integration in French sentence processing: Event-related brain potentials evidence. *Journal of Neurolinguistics*, 46, 23-36. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2017.12.006>

Jasper, H.H. (1958) The Ten-Twenty Electrode System of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.

Jessen, A., Fleischhauer, E., & Clahsen, H. (2017). Morphological encoding in German children's language production: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Child Language*, 44(2), 427-456. <https://doi.org/10.1017/S0305000916000118>

- Karmiloff-Smith, A. (1981). *A Functional Approach to Child Language: A Study of Determiners and Reference*. Cambridge University Press.
- Kim, A., & Osterhout, L. (2005). The independence of combinatory semantic processing: Evidence from event-related potentials. *Journal of Memory and Language*, 52(2), 205-225. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2004.10.002>
- Kolk, H. H. J., Chwilla, D. J., van Herten, M., & Oor, P. J. W. (2003). Structure and limited capacity in verbal working memory: A study with event-related potentials. *Brain and Language*, 85(1), 1-36. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(02\)00548-5](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(02)00548-5)
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event related brain potential (ERP). *Annual review of psychology*, 62, 621-647. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.131123>
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1983). Event-related brain potentials to grammatical errors and semantic anomalies. *Memory & Cognition*, 11(5), 539-550. <https://doi.org/10.3758/BF03196991>
- Laudanna, A., & Burani, C. (1985). Address mechanisms to decomposed lexical entries. *Linguistics*, 23(5), 775-792. <https://doi.org/10.1515/ling.1985.23.5.775>
- Lück, M., Hahne, A., Friederici, A. D., & Clahsen, H. (2001, novembre). *Developing brain potentials in children: An ERP study of German noun plurals*. 26th Boston University Conference on Language Development.
- Luck, S. J. (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique* (2<sup>e</sup> éd.). Bradford.
- Lüdecke, D. (2018). sjmisc : Data and Variable Transformation Functions. *Journal of Open Source Software*, 3(26), 754. <https://doi.org/10.21105/joss.00754>
- Manelis, L., & Tharp, D. A. (1977). The processing of affixed words. *Memory & Cognition*, 5(6), 690-695. <https://doi.org/10.3758/BF03197417>
- Meier, E. L. (2008). Maturation of neural indices for processing verb-agreement violations: Evidence from event-related potentials elicited in adolescents and adults. *Theses and Dissertations Available from ProQuest*, 1-70.
- Mel'cuk, I. (1996). Lexical functions in lexicography and natural language processing. *Lexical Functions: A Tool for the Description of Lexical Relations in the Lexicon*, 37-102.
- Molinaro, N., Barber, H. A., & Carreiras, M. (2011). Grammatical agreement processing in reading: ERP findings and future directions. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 47(8), 908-930. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.02.019>
- Molinaro, N., Vespignani, F., & Job, R. (2008). A deeper reanalysis of a superficial feature: An ERP study on agreement violations. *Brain Research*, 1228, 161-176. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.06.064>
- Morgan-Short, K., Sanz, C., Steinhauer, K., & Ullman, M. T. (2010). Second Language Acquisition of Gender Agreement in Explicit and Implicit Training Conditions: An Event-Related Potential Study. *Language learning*, 60(1), 154-193. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9922.2009.00554.x>

- Morgan-Short, K., Steinhauer, K., Sanz, C., & Ullman, M. T. (2012). Explicit and implicit second language training differentially affect the achievement of native-like brain activation patterns. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(4), 933-947. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00119](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00119)
- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet : LEXIQUE™//A lexical database for contemporary french : LEXIQUE™. *Année Psychologique - ANNEE PSYCHOL*, 101, 447-462. <https://doi.org/10.3406/psy.2001.1341>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Osterhout, L., & Holcomb, P. J. (1992). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31(6), 785-806. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(92\)90039-Z](https://doi.org/10.1016/0749-596X(92)90039-Z)
- Osterhout, L., McLaughlin, J., Pitkänen, I., Frenck-Mestre, C., & Molinaro, N. (2006). Novice Learners, Longitudinal Designs, and Event-Related Potentials: A Means for Exploring the Neurocognition of Second Language Processing. *Language Learning*, 56(s1), 199-230. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9922.2006.00361.x>
- Paradis, C., & El Fenne, F. (1995). French verbal inflection revisited: Constraints, repairs and floating consonants. *Lingua*, 95(1), 169-204. [https://doi.org/10.1016/0024-3841\(95\)90105-1](https://doi.org/10.1016/0024-3841(95)90105-1)
- Pinker, S. (1999). *Words and rules: The ingredients of language* (p. xi, 348). Basic Books.
- Pinker, S., & Prince, A. (1991). Regular and Irregular Morphology and the Psychological Status of Rules of Grammar. *Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.3765/bls.v17i0.1624>
- Pinker, S., & Ullman, M. T. (2002). The past and future of the past tense. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(11), 456-463. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01990-3](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01990-3)
- Poldrack, R. A., & Packard, M. G. (2003). Competition among multiple memory systems: Converging evidence from animal and human brain studies. *Neuropsychologia*, 41(3), 245-251. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00157-4](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00157-4)
- Popov, S. (2022). *Auditory and visual ERP correlates of gender agreement processing in Dutch and Italian* [Thesis, Macquarie University]. <https://doi.org/10.25949/19433552.v1>
- Popov, S., Miceli, G., Ćurčić-Blake, B., & Bastiaanse, R. (2020). The role of semantics and repair processes in article-noun gender disagreement in Italian: An ERP study. *Brain and Language*, 206, 104787. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2020.104787>
- Reifegerste, J., Meyer, A. S., & Zwitserlood, P. (2017). Inflectional complexity and experience affect plural processing in younger and older readers of Dutch and German. *Language, Cognition and Neuroscience*, 32(4), 471-487. <https://doi.org/10.1080/23273798.2016.1247213>
- Rodden, F. A., & Stemmer, B. (2008). CHAPTER 6—A Brief Introduction to Common Neuroimaging Techniques. Dans B. Stemmer & H. A. Whitaker (Éds.), *Handbook of the Neuroscience of Language* (p. 57-67). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045352-1.00006-9>

- Roulet-Amiot, L., & Jakubowicz, C. (2006). Production and perception of gender agreement in French SLI. *Advances in Speech Language Pathology*, 8(4), 335-346. <https://doi.org/10.1080/14417040601009420>
- Royle, P. (2011). *On the Existence of C/Ø Alternations in French Adjective: Theoretical and Empirical Questions*. 1730-1733.
- Royle, P., Drury, J. E., & Steinhauer, K. (2013). ERPs and task effects in the auditory processing of gender agreement and semantics in French. *The Mental Lexicon*, 8(2), 216-244. <https://doi.org/10.1075/ml.8.2.05roy>
- Royle, P., & Valois, D. (2010). Acquisition of adjectives in Quebec French as revealed by elicitation data. *Journal of French Language Studies - J FR LANG STUD*, 20. <https://doi.org/10.1017/S0959269510000013>
- Schipke, C. S., Friederici, A. D., & Oberecker, R. (2011). Brain responses to case-marking violations in German preschool children. *Neuroreport*, 22(16), 850-854. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e32834c1578>
- Schreuder, R., & Baayen, R. H. (1995). Modeling morphological processing. Dans *Morphological aspects of language processing* (p. 131-154). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Seigneuric, A., Zagar, D., Meunier, F., & Spinelli, E. (2007). The relation between language and cognition in 3- to 9-year-olds: The acquisition of grammatical gender in French. *Journal of Experimental Child Psychology*, 96(3), 229-246. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.12.003>
- Steinhauer, K., & Connolly, J. (2008). Event-Related Potentials in the Study of Language. Dans *Handbook of the neuroscience of language* (p. 191-203.). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045352-1.00009-4>
- Steinhauer, K., Panda, E., & Drury, J. (2009). Temporal dynamics of late second language acquisition: Evidence from event-related brain potentials. *Second Language Research - SECOND LANG RES*, 25, 13-41. <https://doi.org/10.1177/0267658308098995>
- Steele, S. (1978). Word order variation: a typological study'. In Greenberg et al., *Universals of human language IV: Syntax*. Stanford: Stanford University Press.
- St-Pierre, M.-C., & Béland, R. (2010). Reproduction of inflectional markers in French-speaking children with reading impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 53(2), 469-489. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2009/07-0251\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009/07-0251))
- Taft, M. (1979). Recognition of affixed words and the word frequency effect. *Memory & cognition*, 7, 263-272. <https://doi.org/10.3758/BF03197599>
- Tucker, G. R., Lambert, W. E., & Rigault, A. (1977). *The French Speaker's Skill with Grammatical Gender: An Example of Rule-governed Behavior*. Mouton.
- Ullman, M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1-2), 231-270. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.10.008>
- Ullman, M. T., & Pierpont, E. I. (2005). Specific Language Impairment is not Specific to Language: The Procedural Deficit Hypothesis. *Cortex*, 41(3), 399-433. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70276-4](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70276-4)

- Ullman, M. T., & Pullman, M. Y. (2015). A compensatory role for declarative memory in neurodevelopmental disorders. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *51*, 205-222. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.01.008>
- Valois, D., & Royle, P. (2009). Partitivity, Atomization, and Noun-Drop: A Longitudinal Study of French Child Language. *Language Acquisition*, *16*(2), 82-105. <https://doi.org/10.1080/10489220902773079>
- Valois, D., Royle, P., Sutton, A., & Bourdua-Roy, È. (2009). L'ellipse du nom en français : Le rôle des données de l'acquisition pour la théorie linguistique. *The Canadian Journal of Linguistics / La revue canadienne de linguistique*, *54*, 339-366. <https://doi.org/10.1353/cjl.0.0050>
- Wauquier, S. (2010). Acquisition de la phonologie « du » français : des usages à la structure, *Langue française*, *168*, 127–144
- Weber-Fox, C., & Hampton, A. (2008). Stuttering and Natural Speech Processing of Semantic and Syntactic Constraints on Verbs. *Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR*, *51*(5), 1058-1071. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/07-0164\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/07-0164))
- Weber-Fox, C., Leonard, L. B., Wray, A. H., & Tomblin, J. B. (2010). Electrophysiological correlates of rapid auditory and linguistic processing in adolescents with specific language impairment. *Brain and Language*, *115*(3), 162-181. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2010.09.001>
- Weber-Fox, C. M., & Neville, H. J. (1996). Maturational Constraints on Functional Specializations for Language Processing: ERP and Behavioral Evidence in Bilingual Speakers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *8*(3), 231-256. <https://doi.org/10.1162/jocn.1996.8.3.231>
- Westermann, G., & Jones, S. (2021). Origins of Dissociations in the English Past Tense : A Synthetic Brain Imaging Model. *Frontiers in Psychology*, *12*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.688908>
- Weyerts, H., Penke, M., Dohrn, U., Clahsen, H., & Münte, T. F. (1997). Brain potentials indicate differences between regular and irregular German plurals. *Neuroreport*, *8*(4), 957-962. <https://doi.org/10.1097/00001756-199703030-00028>
- Wicha, N. Y. Y., Moreno, E. M., & Kutas, M. (2004). Anticipating words and their gender : An event-related brain potential study of semantic integration, gender expectancy, and gender agreement in Spanish sentence reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*(7), 1272-1288. <https://doi.org/10.1162/0898929041920487>
- Willems, R. M., Ozyürek, A., & Hagoort, P. (2008). Seeing and hearing meaning : ERP and fMRI evidence of word versus picture integration into a sentence context. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(7), 1235-1249. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20085>

# Annexes

## Annexe 1

**Tableau 14**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition déterminant pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (800-1300 ms) pour les électrodes latérales-postérieures (électrodes P7, P3, Pz, P4, P8, O1, Oz et O2).*

Effets Fixes				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	0,835	0,190	4,403	0,000
Condition incorrecte	1,344	0,121	11,150	0,000
Effets aléatoires				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	1,413	1,189		

*Équation du modèle : Voltage → condition + (1 | participant)*

**Tableau 15**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition déterminant pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (800-1300 ms) pour les électrodes médiales-**postérieures** (électrodes Pz et Oz)*

<b>Effets fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	0,674	0,246	2,742	0,008
Condition incorrecte	1,799	0,224	8,042	0,000
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	1,759	1,326		

*Équation du modèle : Voltage → condition + (1 | participant)*

**Tableau 16**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition déterminant pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (800-1300 ms) pour les électrodes médiales-**centrales** (électrode Cz)*

<b>Effets fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	-0,570	0,352	-1,617	0,110
Condition incorrecte	1,166	0,341	3,419	0,001
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	3,276	1,810		

*Équation du modèle : Voltage → condition + (1 | participant)*

**Tableau 17**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les négativités pour les électrodes latérales-médianes*

<b>Effets fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	0,296	0,260	1,141	0,259
Condition incorrecte	-1,100	0,144	-7,625	0,000
Groupe adolescent	0,056	0,379	0,148	0,883
Condition incorrecte : Groupe adolescent	-0,494	0,213	-2,320	0,021
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	1,480	1,217		

*Note : Voltage → condition + (1 | participant)*

**Tableau 18**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (900-1100 ms) pour les électrodes latérales-postérieures*

<b>Effets fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	0,998	0,245	4,015	0,000
Condition incorrecte	1,538	0,125	12,332	0,000
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	2,653	1,629		

*Note : Voltage → condition + (1 | participant)*

**Tableau 19**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (900-1100 ms) pour les électrodes médiales-centrales (électrodes Cz)*

<b>Effets fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	1,108	0,361	3,069	0,003
Condition incorrecte	1,837	0,384	4,780	0,000
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	2,817	1,678		

*Note : Voltage → condition + (1 | participant)*

**Tableau 20**

*Modèle mixte lmer pour le voltage de la condition adjectivale pour les positivités des adultes (675-1100 ms) et des adolescents (900-1100 ms) pour les électrodes médiales-postérieures (électrodes Pz et Oz)*

<b>Effets fixes</b>				
	Estimé	Erreur standard	Valeur de t	Pr(> t )
(Intercept)	0,933	0,282	3,311	0,002
Condition incorrecte	2,393	0,225	10,662	0,000
<b>Effets aléatoires</b>				
	Variance	Erreur standard		
Participants (intercept)	2,680	1,637		

*Note : Voltage → condition + (1 | participant)*

## **Annexe 2**

### **Liste des adjectifs**

#### **Variables**

Blanc, gris, vert brun

#### **Adjectifs**

Rouge, bleu, noir jaune

### **Liste des noms**

#### **Masculins**

Crayon, chapeau, soulier, train, poisson, foulard

#### **Féminins**

Chaise, fourchette, clé, sacoche, tasse, poubelle

### **Liste des Déterminants**

#### **Masculin**

Le

#### **Féminin**

La