

L'acquisition du groupe nominal en français et de ses aspects morpho-syntaxiques et sémantiques : une étude de potentiels évoqués

Emilie Courteau*, Karsten Steinhauer**, Phaedra Royle***

* orthophoniste, maîtrise professionnelle orthophonie MPO (Université de Montréal), emilie.courteau@gmail.com

** Ph.D., McGill University et Centre de recherche sur le cerveau, le langage et la musique, karsten.steinhauer@mcgill.ca

*** Ph.D., Université de Montréal et Centre de recherche sur le cerveau, le langage et la musique, phaedra.royle@umontreal.ca

Article issu du mémoire de maîtrise (travail dirigé) d'Émilie Courteau, sous la direction de Phaedra Royle et Karsten Steinhauer.

Résumé:

La présente étude rapporte des potentiels évoqués (PÉs) démontrant les processus d'accord nominal en genre et le traitement de la sémantique conceptuelle chez de jeunes enfants francophones. Les études qui se sont penchées sur ce thème ont décrit les schèmes de production langagière des enfants, sans toutefois examiner la nature des opérations cognitives sous-tendant ce type d'accord.

L'étude comprenait les données de 52 enfants âgés de 4 ans 6 mois à 8 ans 9 mois qui ont participé à deux séances d'électroencéphalographie, pendant lesquelles des stimuli composés de phrases nominales accompagnées d'une image étaient présentés. Les phrases étaient soit correctement construites, soit elles présentaient des erreurs lexico-sémantiques où le nom entendu ne correspondait pas à l'image ou bien des erreurs d'accord en genre entre le déterminant et le nom où le nom et l'adjectif étaient présentes.

Les conditions ont induit des (PÉs) différents pour les trois types d'erreurs. Les résultats permettent de conclure que, dans le cas de discordance lexico-sémantique, les enfants présentent des PÉs similaires à la N400 induite chez les adultes. Les erreurs d'accord entre le nom et le déterminant ont induit une onde de type P600 et les erreurs sur les adjectifs des N400 centro-pariétales. Les différences observées entre les résultats des enfants et des adultes dans les mêmes conditions expérimentales sont conformes aux tendances développementales relevées dans la littérature.

Mots clés : apprentissage, langage, linguistique, accords, potentiels évoqués.

An auditory ERP study of gender concord and semantic processing in French children

Summary:

We report on an event-related potential (ERP) study showing that gender processing can be tapped in young children. Our experiment was designed to study agreement (concord) between the noun and determiner, or adjective, as well as semantic processing in the French determiner phrase (DP). Previous studies have described language production for similar structures in French children, but have never investigated the cognitive processing underlying agreement processes.

During two ERP recording sessions, we presented auditory sentences concurrently with images that to 52 French children aged 4;6 to 8;9 years. Stimuli included grammatically correct forms matching with images, semantic auditory-visual mismatches, and sentences with agreement errors on the determiner or the adjective.

Results show that children elicit distinct ERPs for the three types of errors. In the case of visual-auditory semantic mismatches, children show N400s similar to those of adults. Gender agreement violations on the determiner show a positive wave type similar to the P600 and the agreement violations in the adjectives elicits a N400-like centro-parietal negativity. Differences between ERPs of children and adults in the same conditions reflect developmental patterns reported in the scientific literature.

Key words: development, language, linguistic, agreement, event-related potentials.

----- INTRODUCTION -----

La présente étude examine à l'aide des potentiels évoqués (PÉs) les processus langagiers chez les jeunes enfants franco-québécois. Plus précisément, l'accord du genre entre les dyades déterminant-nom et nom-adjectif ainsi que la sémantique lexicale conceptuelle ont été étudiés dans des contextes concordants ou discordants. L'électrophysiologie a été choisie comme technique d'investigation puisqu'elle permet d'obtenir de l'information sur les processus sous-tendant les phénomènes d'accord du nom et de l'adjectif sans tâche linguistique explicite. Ces phénomènes sont traditionnellement observés de façon comportementale en recherche.

a. Acquisition du syntagme nominal en français

Un aspect particulier du développement du langage, soit l'acquisition du syntagme nominal, est considéré ici. Cette construction du français peut inclure différentes classes de mots et « peut être constitué d'un déterminant (article ou quantificateur), d'un nom, d'un ou plusieurs adjectifs, ainsi que d'un ou plusieurs compléments » (Royle et al., 2010). Dès l'âge de 1;8 ans (1 an 8 mois), on retrouve dans les productions spontanées des enfants, des syntagmes nominaux avec déterminants et adjectifs. Très peu d'erreurs sont commises par les jeunes locuteurs avec un développement typique, autant sur les déterminants, les pronoms ou les adjectifs (Valois et al., 2009). Le portrait de productions de syntagmes nominaux chez les enfants est toutefois différent lorsque celles-ci sont induites. Royle et Valois (2010) ont étudié la production induite de syntagmes nominaux contenant un déterminant, un nom et un ou deux adjectifs, chez des enfants tout-venant de 3 à 5 ans. À l'aide d'une activité de casse-tête, les enfants étaient amenés à produire des syntagmes nominaux de genre masculin et féminin, avec des adjectifs variables de grandeur et couleur (par ex. *La maison verte, Le grand cheval rose*). La forme féminine de certains adjectifs variables était communément produite de façon erronée, et ce même dans le groupe d'enfants plus âgés : la forme masculine avait tendance à être produite lorsque le nom était féminin. Les auteurs suggèrent qu'une vérification de l'accord serait en place, puisque la forme masculine était toujours adéquate et les déterminants n'étaient jamais erronés, mais que le processus de production d'adjectifs féminins ne semblerait pas être régi par une règle à ce stade d'acquisition du langage.

b. L'électroencéphalographie et les potentiels évoqués

Les potentiels évoqués (PÉs) sont des mesures de changements de voltage liés à la présentation de stimuli. Ils sont obtenus par l'électroencéphalographie (EEG), une technique qui permet d'enregistrer l'activité électrique cérébrale à l'aide d'électrodes distribuées sur le scalp (Luck, 2005). Des différences entre les PÉs, appelées « composantes », peuvent être créées par des manipulations linguistiques sur des stimuli verbaux. Ces manipulations permettent de mettre à jour les processus neurocognitifs qui sont impliqués dans les différentes sphères associées au traitement du langage. Les composantes se distinguent par leur polarité (négative ou positive), par leur latence (le moment d'apparition de l'onde), par leur durée totale, par leur amplitude ou bien par la latence de l'amplitude maximum de l'onde. La distribution des ondes sur le scalp, appelée topographie, permet aussi de discriminer les différentes composantes. Plusieurs composantes des PÉs associées aux opérations mentales utilisées lors du traitement du langage sont connues. Elles touchent différents aspects du langage, telles la discrimination de phonèmes, la segmentation de mots, la segmentation intonative et prosodique, la morphologie, la sémantique conceptuelle, la syntaxe, la production du discours, etc. (Royle & Courteau, 2013).

c. Traitement lexico-sémantique et morphosyntaxique

La N400 est une onde négative associée entre autres au traitement lexico-sémantique (Luck, 2005). Elle est de polarité négative et est observée dans les régions pariétales entre 300 et 500 ms après la présentation d'un stimulus. Elle peut être provoquée par une violation des attentes sémantiques, par exemple lors de la présentation d'une phrase dont le dernier mot est incongruent au contexte sémantique qu'il établit (par ex. *He sailed the boat!/spoon to Boston* « Il a navigué en bateau!/cuillère jusqu'à Boston », Steinhauer et Connolly, 2008). La N400 peut aussi être induite dans un contexte bimodal de présentation des stimuli, que ce soit au niveau du mot isolé ou de la phrase (Friedrich & Friederici, 2004, Willems et al., 2008). Willem et collaborateurs ont présenté des phrases à des participants adultes, en conjonction avec une image qui correspondait ou non au mot cible. Lorsque l'image ne correspondait pas au mot cible entendu, une composante N400, avec une plus grande amplitude négative que dans la condition congruente, apparaissait. Les auteurs concluent que l'information sémantique, qu'elle soit de forme visuelle ou auditive, est intégrée de façon semblable lors de son analyse, et ce, même au niveau de la phrase.

Accéder au sens d'une phrase implique non seulement une identification sémantique des mots, mais aussi une analyse de la relation grammaticale entre les constituants. Les corrélats neurocognitifs de l'analyse morphosyntaxique ont surtout été étudiés dans des contextes de violations de règles grammaticales. Les PÉs dans ces contextes révèlent une onde biphasique : la LAN-P600 (voir Molinaro et al., 2011, pour une revue sur les études impliquant l'accord à l'écrit). La première onde négative, souvent latéralisée sur l'hémisphère gauche (*Left anterior negativity*, ou LAN), est présente entre 300 et 500 ms, et reflète une première analyse morphosyntaxique. Elle est suivie d'une onde positive postérieure apparaissant entre 500 et 1000 ms (P600), qui reflète une réanalyse ou une intégration de l'anomalie syntaxique (Steinhauer & Connolly, 2008 ; Steinhauer & Drury, 2012). La P600 est observée lors de la présentation de stimuli auditifs ou visuels (écrits) contenant des erreurs d'accord de genre dans plusieurs langues, dont le français à l'écrit (Foucart & Frenck-Mestre, 2012).

d. Potentiels évoqués et acquisition du langage

Peu d'études ont investigué à l'aide de PÉs l'acquisition des processus sémantiques, syntaxiques et morphosyntaxiques chez les enfants (Royle & Courteau, 2013). Les PÉs seraient influencés entre autres par l'âge des sujets et la nature linguistique de la tâche. Les différences générales entre les enfants et adultes se décrivent en matière de latence et d'amplitude, ainsi que de topographie des PÉs : les enfants ont tendance à produire des PÉs avec des amplitudes plus grandes, des latences plus longues et des distributions topographiques plus larges que celles des adultes.

La N400, qui est associée aux processus lexico-sémantiques, peut être observée dès la petite enfance. Friedrich et Friederici (2004) l'ont démontré dans une étude d'enfants germanophones de 19 mois, en présentant des images d'objets associés à des stimuli auditifs. La paire de stimuli bimodale était soit concordante, où le mot entendu correspondait à l'image présentée, soit discordante (par exemple, le stimulus auditif était *chaise* et le visuel était l'image d'un BALLON). L'analyse a révélé, dans la condition incorrecte, une négativité accrue distribuée dans les zones frontales et centro-pariétales entre 700 et 1400 ms chez les enfants. Cette négativité était similaire à la N400 présente chez les adultes. Toutefois, la négativité chez les adultes apparaissait plus tôt, autour de 300ms, et était focalisée dans les

zones pariétales. Dans une expérimentation similaire, l'effet N400 observé chez les enfants deviendrait comparable à celui des adultes en termes de latence et de distribution à partir de l'âge de 7 ans (Cummings et al., 2008).

Le schème d'ondes biphasiques (LAN-P600) lié aux erreurs morphosyntaxiques n'a pas encore été observé chez les jeunes enfants. Silva-Pereyra et al. (2005) ont présenté à des enfants anglophones de 3 et 4 ans des phrases avec des incongruences morphosyntaxiques entre l'auxiliaire et le verbe (par ex. *My uncle will *watching the movie* « Mon oncle était *regardant le film»). Les enfants produisaient des positivités soutenues (de 200 à 1000 ms) et distribuées face à ces erreurs. Dans une étude avec des enfants plus âgés (8 à 13 ans), une onde biphasique de LAN-P600 est observée par Atchley et al. (2006), mais cette étude présente des défis méthodologiques qui empêchent sa pleine interprétation (Royle & Courteau, 2013). Clahsen et al. (2007) n'ont observé le schème d'ondes biphasiques qu'à partir de l'âge de 8 ans, où une négativité distribuée dans les zones antérieures de la tête de 600 à 1000 ms précédait une positivité présente à partir de 1000 ms, pour des erreurs de surrégularisation (par ex. *he goed* « il est allé »). Un effet LAN-P600 globalement similaire à ceux des adultes était observable seulement à compter de 11-12 ans.

Ces données démontrent une tendance développementale dans le traitement lexico-sémantique et morphosyntaxique chez les enfants. Avec l'âge, les schèmes d'ondes se focalisent, l'amplitude des PÉs décroît, et leur latence d'apparition se raccourcit. Ces tendances indiqueraient que, chez les enfants, le traitement de l'information demande plus de ressources, et que ce traitement serait moins automatisé, puisque l'amplitude élevée des PÉs traduirait une activité cérébrale plus intense (Wray & Weber-Fox, 2013). La latence tardive observée chez les plus jeunes désignerait aussi une lenteur de traitement chez les enfants (Friederici, 2002). Par contre, les différences d'amplitude entre les enfants et les adultes pourraient s'expliquer par des raisons autres que développementales. La peau du scalp des enfants est plus mince que celui de l'adulte, ce qui faciliterait l'enregistrement des PÉs. Le signal serait alors mieux capté par les électrodes, et l'amplitude mesurée plus grande.

e. La présente étude

Cette étude vise à éclaircir le développement de l'activité cérébrale associée à la compréhension du syntagme nominal en français, chez les enfants francophones. L'utilisation de l'EEG permet d'investiguer les processus cognitifs sous-tendant le traitement de ces structures. En comparant les résultats obtenus à ceux des adultes dans les mêmes conditions expérimentales (Gascon et al., 2011; Royle et al., 2013), les changements neuronaux liés à l'acquisition du langage chez les enfants neurotypiques pourront être précisés dans le but de produire des normes développementales. Aucune tâche de jugement n'était demandée aux participants. En effet, Gascon et al. (2011) et Royle et al. (2013) ont montré que ces stimuli peuvent induire chez les adultes des PÉs associés à des erreurs d'accord (LAN-P600) et lexico-sémantiques (N400) sans jugement de grammaticalité. En nous basant sur ces données d'adultes et sur la littérature, nous nous attendons à retrouver une N400 dans les conditions d'incongruence sémantique, étant donné qu'elle a déjà été observée chez des enfants, et même chez les préverbaux (Friedrich & Friederici, 2004). Du côté des erreurs morphosyntaxiques de genre, les adultes francophones présentent l'onde biphasique LAN-P600 (Gascon et al., 2011 ; Royle et al., 2013). Cependant, les études avec des enfants ont mis en relief que le développement neurocognitif du traitement morphosyntaxique serait plus tardif que celui lexico-sémantique. Le complexe LAN-P600 pourrait être observé si le processus d'accord

lexical en genre est maîtrisé chez les participants, mais ce schème d'ondes serait, selon certains, difficilement observable avant l'âge de 11-12 ans (Clahsen et al., 2007). Une positivité étendue et largement distribuée, semblable à la P600, pourrait être observée, comme l'ont fait Silva-Pereyra et al. (2005) chez des enfants de 4 ans. Néanmoins, aucune étude utilisant les PÉs ne s'est encore penchée sur le traitement de l'accord de genre en français chez les enfants, ni en langue orale chez les adultes (mis à part celle de cette équipe, cf. Gascon et al., 2011 ; Royle et al., 2013).

----- METHODOLOGIE -----

Matériel et méthodes

a. Participants

52 enfants francophones unilingues (dont 31 filles), âgés de 4;6 à 8;9 ans ($M = 6,8$, $ET = 1,2$) ont participé à l'étude. Les analyses présentées dans ce travail ont été faites à partir des données de 19 de ces enfants (dont 12 filles) âgés de 4;6 à 8;9 ans, ($M=7,7$, $ET= 1,08$), les autres ayant présenté trop d'artefacts dans leurs enregistrements (voir Courteau et al., 2013, pour une description des enfants recrutés). Le protocole expérimental a été approuvé par le comité d'éthique du CHU Sainte-Justine et du Centre de recherche de l'institut universitaire de gériatrie de Montréal (CRIUGM).

b. Stimuli

Dans le contexte d'un paradigme « alien learning » (Labelle & Valois, 2003), des phrases grammaticalement et sémantiquement correctes ou non étaient présentées aux participants, qui regardaient au même moment des images d'objets en couleur qui ne correspondaient pas toujours sémantiquement aux stimuli auditifs. Les phrases utilisées contenaient 12 noms et 8 adjectifs de couleur acquis avant l'âge de trois ans (Trudeau et al., 1999). Les fréquences d'occurrences dans la langue orale et écrite ont été vérifiées sur des bases de données Manulex (www.manulex.org) et Novlex (www2.mshs.univ-poitiers.fr/novlex), des corpus de livres pour enfants d'âge scolaire, ainsi que la base de données de langue orale de Lexique (www.lexique.org). Les noms et les adjectifs ont été choisis en fonction de leur imageabilité et ils ont été contrôlés sur leur longueur (syllabique et phonologique). La moitié des noms était de genre féminin et la moitié des adjectifs étaient invariables. Les noms et les adjectifs sélectionnés ont été agencés afin de créer 48 paires adjectif-nom de genre féminin et 48 de genre masculin. Ces paires ont été insérées dans des phrases qui commençaient toutes par *Je vois* et se terminaient par un complément prépositionnel (*sur la table* ou *dans la boîte*). Les stimuli auditifs étaient produits par une comédienne francophone avec une intonation naturelle. Seules les phrases grammaticales étaient produites et enregistrées. Par la suite, elles ont été repiquées pour créer les stimuli grammaticaux et agrammaticaux, afin d'éviter des biais de nature acoustique. Les phrases étaient repiquées au début du déterminant, du nom, de l'adjectif et du complément prépositionnel (tableau 1). Les stimuli agrammaticaux ont été créés à partir du repiquage d'un déterminant ou d'un adjectif ne correspondant pas au genre du nom (tableau 1 b/c). Lors de leur présentation, les phrases étaient accompagnées d'un stimulus visuel représentant le nom principal de la phrase. Dans la condition de discordance sémantique, l'image ne représentait pas le nom principal de la phrase (tableau 1a et figure 1). Les illustrations avaient des niveaux de complexité visuelle semblables et ne contenaient pas de détails superflus qui auraient pu distraire le participant.

Conditions	Stimuli auditifs
a. Sémantique-lexicale	Je vois un !train brun sur la table.
b. Adjectivale	Je vois un soulier *brune sur la table.
c. Déterminant	Je vois *une soulier brun sur la table.

Tableau 1. Exemples de stimuli auditifs incongruents, avec découpage, selon les trois conditions.



Figure 1. Illustration utilisée pour *Je vois un soulier brun sur la table*. ©droits d'auteur Édith Lebel

c. Procédure

Les enfants participaient à deux visites au laboratoire du CRIUGM (au Laboratoire de la Dre Brigitte Stemmer), avec une semaine d'intervalle entre les deux. La séance débutait par un dépistage auditif. Un casque de 32 électrodes Biosemi Active One était ensuite posé sur la tête du participant et celui-ci était dirigé vers une salle sans champs électromagnétiques. Le participant était assis sur une chaise à environ 1m de distance d'un écran d'ordinateur. L'expérimentation se faisait toujours avec deux auxiliaires de recherche ; l'une accompagnait le participant tout le temps, et l'autre gérait l'expérimentation et le recueil des données par ordinateur. Les stimuli visuels étaient présentés sur l'écran d'ordinateur en même temps que les phrases qui étaient présentées via des écouteurs intra-auriculaires. Avant la présentation de chaque item image-phrase, une croix de fixation apparaissait à l'écran pendant 2 secondes. On demandait aux enfants de garder les yeux ouverts et de ne pas bouger lorsqu'ils voyaient une image sur l'écran et qu'ils entendaient le personnage de Zilda l'extra-terrestre pratiquer son français.

Afin de réduire les artéfacts liés aux mouvements dans l'enregistrement EEG, l'auxiliaire qui accompagnait le participant à l'intérieur de la salle jouait au jeu de la « statue », au besoin. L'enfant n'avait pas de tâches à réaliser pendant la passation des stimuli, sauf rester attentif et regarder l'écran. Chacune des deux séances de l'expérimentation était scindée en quatre parties. Celles-ci étaient composées de 8 blocs de stimuli et étaient intercalées avec des

animations et des images accompagnées d'une narration. Des pauses étaient prévues après chaque présentation de 5 blocs de stimuli. Les pauses pouvaient être plus fréquentes si l'enfant était fatigué, agité ou produisait une quantité excessive d'ondes alpha (ondes de fréquence autour de 10 Hz qui interfèrent avec l'enregistrement de PÉs linguistiques). Suite aux séances d'enregistrement, les enfants étaient évalués avec des tâches cliniques et linguistiques qui ne sont pas analysées ici. Ces tâches incluaient une tâche d'évaluation de la compréhension grammaticale (compréhension de phrases ÉLO, Khomsi, 2001), une tâche de production de syntagmes nominaux complexes avec des adjectifs variables (Royle & Valois, 2010), et des tâches de production et de compréhension de déterminants (Royle & Valois, en préparation). Tous les enfants retenus pour l'étude ont montré de bonnes habiletés en compréhension sur la tâche ÉLO.

d. Analyses

L'EEG des participants a été enregistré de façon continue au taux d'échantillonnage de 250 Hz avec un amplificateur Biosemi. Les données ont été importées dans le logiciel EEProbe pour analyse. Les données brutes ont ensuite été filtrées à l'aide d'un filtre à bande passante de 0.3 à 30 Hz. Les enregistrements contaminés par des artefacts de mouvement (+/- 30mV) ont ensuite été éliminés. Les 19 enfants sélectionnés pour les analyses avaient les plus hauts taux d'items non contaminés (un minimum de 35% d'items analysables). Dans certains cas, les deux enregistrements n'ont pas été retenus pour le même enfant. Les données des électrodes F7, T7, Cp5, P7, F3, C3, Cp1, P3, F4, C4, Cp2, B4, F8, T8, CP6, P8, Fz, Cz et Pz ont été incluses dans nos analyses (figure 2).

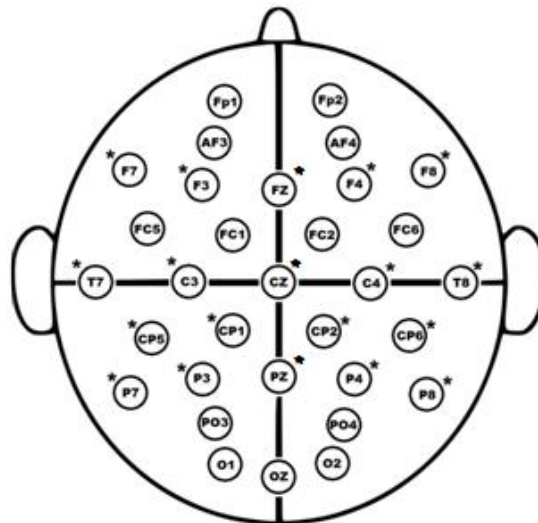


Figure 2. Positions des électrodes sur le casque pendant l'enregistrement EEG. Les électrodes identifiées par une étoile (*) sont celles incluses dans nos analyses.

Des analyses séparées ont été faites pour chacune des trois conditions (a, b, et c dans le tableau 1). Ces conditions étaient comparées à leur équivalent de la condition correcte. Un ajustement pour le niveau de base a été fait sur la moyenne d'activation des 300 ms avant la présentation du stimulus critique. La fenêtre d'analyse des données débutait à l'apparition du déterminant, d'une durée d'environ 100 ms, et la fenêtre de temps total était de 1050 ms pour

les conditions a et c, et de 2000 ms pour la condition b. Des ANOVAs à mesures répétées ont été effectuées séparément pour les électrodes latérales et celles de la ligne médiane. Pour les électrodes latérales, un dessin à 4 facteurs a été utilisé : COND(ITION) (2 niveaux : congruent / agrammatical, incongruent / agrammatical), ANT(ERIORITE) (4 niveaux : + antérieur, +/- antérieur, +/- postérieur, + postérieur), LAT(ERALITE) (2 niveaux : + latéral, - latéral) et HEM(ISPHERE) (2 niveaux : droit et gauche). Pour les analyses statistiques des électrodes de la ligne médiane, un dessin à 2 facteurs a été utilisé : COND(ITION) (2 niveaux : congruent / agrammatical, incongruent / agrammatical), ÉLEC(TRODES) (3 niveaux : frontale (Fz), centrale (Cz), et postérieure (Pz)). Un alpha de 0,05 a été utilisé pour les analyses statistiques, et une correction de sphéricité Greenhouse-Geisser a été appliquée pour les conditions où le numérateur était plus grand que 1.

----- RESULTATS -----

Suite à un moyennage sur les items des conditions contrôles et agrammaticales/incongruentes, les données pour chaque électrode et les cartes topographiques représentant la distribution de l'activation sur les scalps ont été inspectées visuellement. Nos observations ont révélé des schèmes d'ondes et des distributions de voltage particulières dans chacune des conditions.

a. Condition lexicale-sémantique

Les items de la condition d'incongruence sémantique ont induit deux composantes de PÉS distinctes (figure 3). Premièrement, une négativité distribuée dans les zones frontales, temporales et pariétales émerge autour de 500 ms et dure jusqu'à environ 1000 ms : son amplitude est légèrement plus grande dans l'hémisphère gauche. Deuxièmement, une onde positive apparaît dans la zone occipitale vers 500 ms, et s'étend vers les zones temporales jusqu'à environ 1000 ms.

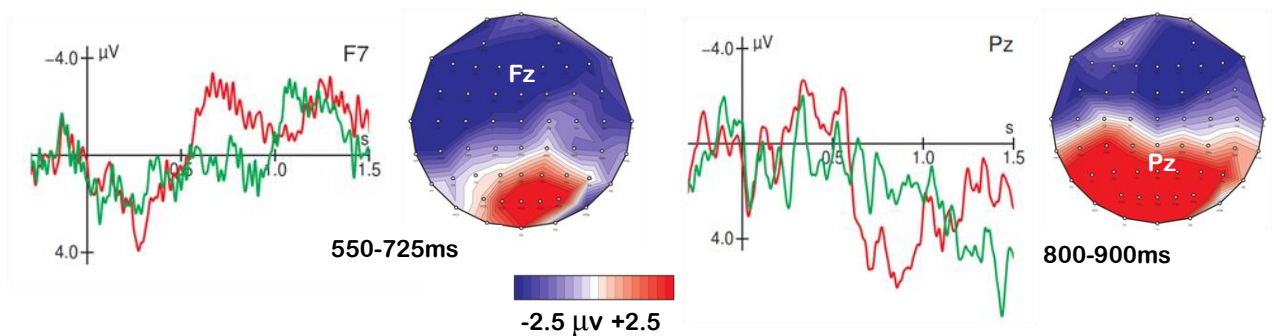


Figure 3. La condition sémantique illustrée avec les électrodes Pz et Fz, et par les cartes topographiques (représentant la condition incongrue moins la condition contrôle) associées aux fenêtres de temps des analyses statistiques avec résultats significatifs. Dans les électrodes, les lignes rouges correspondent à la condition incongruente et les lignes vertes à la condition congruente. Sur les cartes, les zones bleues représentent des négativités et les rouges des positivités.

Des analyses statistiques ont été réalisées pour les fenêtres de temps 550-725 ms, et 800-900 ms. Dans la fenêtre de temps 550-725 ms, aucun effet principal de COND n'a été trouvé pour les électrodes centrales et latérales. On observe une interaction de COND*ELEC dans l'analyse des électrodes centrales ($F(2,62) = 3,16, p < 0,05$). La décomposition de cette interaction à chaque électrode ne révèle pas de différence significative entre les conditions, quoique Fz présente une tendance vers la différence ($F(1,31) = 4,01, p = 0,08$). Aux électrodes latérales on observe une interaction significative des facteurs COND*ANT ($F(3,93) = 3,44, p < 0,05$). La décomposition de l'interaction montre des effets significatifs pour les séries d'électrodes les plus antérieures (+ antérieures ; $F(1,31) = 6,85, p < 0,05$; +/- antérieures ; $F(1,31) = 5,06, p < 0,05$).

Dans la deuxième fenêtre de temps, de 800-900 ms, aucun effet principal de condition n'a été observé. L'analyse des électrodes centrales révèle une interaction significative COND*ELEC ($F(2, 62) = 8,63, p < 0,001$). La décomposition de celle-ci révèle des effets significatifs aux électrodes Fz ($F(1,31) = 4,36, p < 0,5$) et Pz ($F(1,31) = 4,92, p < 0,05$). Pour les électrodes latérales, une interaction significative COND*ANT est observée ($F(3,93) = 9,12, p < 0,001$). La décomposition de l'interaction révèle une tendance non-significative pour les électrodes les plus antérieures ($F(1,31) = 3,49, p = 0,08$) et un effet significatif pour les électrodes les plus postérieures ($F(1,31) = 9,31, p < 0,01$).

b. Condition adjectivale

Dans les conditions (b) où l'accord de genre entre l'adjectif et le nom était incorrect, nous observons, tout d'abord, une différence précoce inattendue et négative autour de 100 ms. Une deuxième négativité apparaît autour de 300 ms et se termine approximativement à 750 ms (figure 4). La carte topographique permet de voir que cette activation est largement distribuée, et que son amplitude est légèrement plus élevée dans les zones centrales du scalp. Suivant celle-ci, une positivité émerge autour de 950 ms et dure jusqu'à environ 1250 ms (celle-ci n'est pas illustrée, car les résultats statistiques ne révèlent pas d'effets significatifs dans cette fenêtre de temps). Celle-ci est distribuée sur toute la surface du scalp.

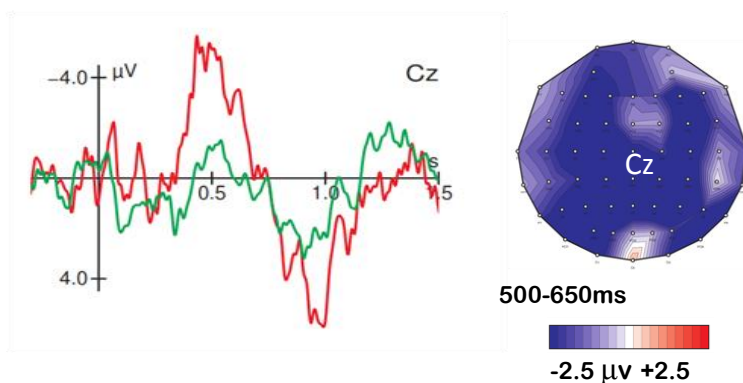


Figure 4. La condition adjectivale illustrée avec l'électrode Cz, et par une carte topographique (représentant la condition incongrue moins la condition contrôle) associée à la fenêtre de temps des analyses statistiques avec résultats significatifs. Dans l'électrode, la ligne rouge correspond à la condition non grammaticale et la ligne verte à la condition grammaticale. Sur la carte topographique, les zones bleues représentent des négativités et les rouges des positivités.

Des analyses statistiques ont été réalisées pour les fenêtres de temps 100-150 ms, 200-300 ms, 500-650 ms et 950-1050 ms. Aucun effet significatif n'a été trouvé pour la première fenêtre de temps autant pour les électrodes centrales que latérales. Les analyses de la fenêtre de temps 200-300 ms révèlent un effet de COND significatif uniquement pour les électrodes latérales ($F(1,29) = 4,89, p < 0,5$). L'analyse de la fenêtre de temps 500-650 ms montre un effet de COND significatif ($F(1,29) = 15,42, p < 0,001$) ainsi qu'une tendance pour l'interaction COND*ELEC pour les électrodes centrales ($F(2,58) = 3,25, p = 0,08$). Dans l'analyse des électrodes latérales, un effet significatif de COND ($F(1,29) = 18,62, p < 0,001$) ainsi qu'une interaction COND*LAT ($F(1,29) = 12,28, p < 0,001$) sont observés. La décomposition de cette dernière interaction révèle des effets significatifs autant pour les électrodes les plus latérales (+latéral ; $F(1,29) = 5,28, p < 0,05$) que pour les plus centrales (-latéral, $F(1,29) = 28,50, p < 0,001$). La dernière fenêtre de temps, de 950-1050 ms, ne présente pas d'effet de COND significatif (ni d'interactions) pour les électrodes centrales. Une tendance d'effet de COND est toutefois présente pour les électrodes latérales ($F(1,29) = 3,56, p = 0,08$).

c. Condition déterminant

Dans les conditions (c), où l'accord de genre entre le déterminant et le nom était incorrect, nous observons une positivité largement distribuée qui apparaît tardivement, autour de 1000 ms, et qui se termine approximativement à 1500 ms (figure 5).

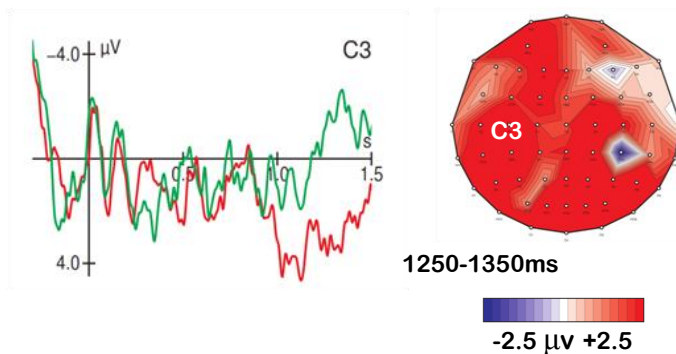


Figure 5. La condition déterminant illustrée avec l'électrode C3, et par une carte topographique (représentant la condition incongrue moins la condition contrôle) associée à la fenêtre de temps des analyses statistiques avec résultats significatifs. Dans l'électrode, la ligne rouge correspond à la condition non grammaticale et la ligne verte à la condition grammaticale. Sur les cartes topographiques, les zones bleues représentent des négativités et les rouges des positivités.

Des analyses statistiques ont été effectuées pour les fenêtres de temps 1050-1100 ms et 1250-1350 ms. Aucun effet significatif de COND, ni d'interaction avec d'autres facteurs, n'a été trouvé pour la première fenêtre de temps, autant pour les électrodes centrales que latérales. Les analyses pour la seconde fenêtre révèlent un effet significatif de COND pour les électrodes latérales ($F(1,31) = 4,64, p < 0,05$). Ces résultats confirment nos observations quant à la présence d'une positivité tardive.

----- DISCUSSION -----

Nos données révèlent des PÉs différents selon les conditions, et ceux-ci correspondent dans l'ensemble à nos hypothèses de départ. Sur le plan de la sémantique-lexicale, où les enfants étaient exposés à des discordances entre l'image et la phrase entendue, deux ondes ont été évoquées, une onde négative suivie d'une onde positive. Ces ondes correspondent au patron observé chez les adultes, et démontrent une maîtrise du processus d'accès lexical et sémantique similaire à celle des adultes. La négativité est distribuée dans les zones frontales, pariétales et temporales à l'intérieur d'une latence de 500 à 1000 ms, avec une amplitude légèrement plus élevée dans l'hémisphère gauche, globalement semblable à la N400 observée chez les adultes dans les mêmes conditions expérimentales. Des différences sont toutefois notées entre les PÉs des participants enfants et adultes : chez les enfants, la latence de cette onde est plus tardive, sa durée plus longue et sa topographie est plus distribuée. Ces différences sont conformes à la littérature sur les tendances développementales de la N400 (Friederici, 2002, Wray & Weber-Fox, 2013). Cette négativité est suivie d'une positivité de 500 à 1000 ms, et est semblable à celle observée chez les adultes dans les mêmes conditions (Royle et al., 2013). Celle-ci traduirait une réanalyse ou une tentative de réparation de l'anomalie sémantique créée par la discordance des stimuli visuels et auditifs (Steinhauer & Connolly, 2008).

Dans la condition d'erreur d'accord de l'adjectif (b), nous avons observé une négativité, plus présente dans les zones centrales que latérales, qui durait de 300 ms à 750 ms. Celle-ci était suivie d'une onde positive qui durait jusqu'à environ 1250 ms, avec une tendance significative dans les zones latérales. Ce profil biphasique correspond selon nous à la LAN-P600 observée chez les adultes dans les mêmes conditions, ce qui démontre que le processus d'accord lexical en genre est présent chez les enfants. Toutefois, des différences sur le plan topographique et de l'amplitude des ondes démontrent que ce processus est encore en développement dans ce groupe. En effet, ce profil d'ondes refléterait le fait que les mécanismes d'accord en genre entre le nom et l'adjectif, chez ces jeunes francophones, seraient en cours de consolidation. Nos résultats viennent donc appuyer les observations des études comportementales, où la production induite de l'accord en genre entre le nom et l'adjectif est maîtrisée après l'âge de 4 ans chez les enfants francophones (Royle & Valois, 2010). Puisque ce sont des ondes moyennées sur des enfants de 4;6 à 8;9 ans, les différences d'âge n'ont pas été ressorties. Des analyses subséquentes pourront clarifier cette question (Steinhauer et al., en préparation). Sur le plan de l'accord entre le déterminant et le nom (c), le schème d'ondes des enfants est différent de celui présent chez l'adulte. Nous observons chez nos participants une positivité tardive, largement distribuée sur le scalp, et qui dure de 1000 ms à 1500 ms, semblable à la P600 relevée chez les adultes. Par contre, aucune négativité antérieure n'est observée chez les enfants (contrairement à ce qui est constaté chez les adultes par Gascon et al., 2011). Étant donné que cette négativité antérieure est interprétée comme étant un réflexe d'automatisation de processus d'accord (Clahsen et al., 2007; Steinhauer & Connolly, 2008), une interprétation de cette différence pourrait être que les enfants n'ont pas encore automatisé la vérification de l'accord du déterminant. Ceci est toutefois étonnant, étant donné que les enfants maîtrisent l'accord du déterminant à de très jeunes âges (voir par exemple Valois & al., 2009; van Heugten et Shi, 2009). Il se pourrait que les enfants aient une tolérance à l'erreur liée au statut d'extraterrestre de l'apprenant. Cette hypothèse reste à vérifier dans des recherches futures.

Cette divergence entre les PÉs pour l'accord de l'adjectif versus l'accord du déterminant (et ceux des adultes) peut être appréhendée de différentes façons. Une première hypothèse est de

considérer que l'accord en genre est déterminé par le nom. Lorsque le participant entend le nom, le genre de celui-ci est identifié. La détection de l'accord sur l'adjectif est rapidement effectuée, puisque le genre nominal a déjà été activé par le nom et le déterminant. Lorsque l'enfant est face à une erreur de déterminant, il doit attendre d'entendre le nom afin d'en identifier le genre, et il peut ensuite rétroactivement détecter si oui ou non l'accord du déterminant était correct. Nos résultats pourraient traduire un délai lié à l'attente du nom, et ensuite à la détection rétroactive de l'erreur d'accord dans un processus de réanalyse, qui s'exprime par une positivité tardive. Cependant, nous devons prendre en compte que les enfants voyaient l'image du nom pendant que le déterminant était entendu, ce qui fait qu'ils étaient déjà exposés au genre de celui-ci. Deux autres interprétations peuvent alors être proposées. Il se pourrait que les enfants soient simplement plus tolérants aux erreurs de genre sur le déterminant comparativement à celles sur l'adjectif. De plus, le manque d'effets lié à l'erreur d'accord sur le déterminant pourrait être dû au fait qu'aucune autre source d'information sur le genre n'était présentée à ce moment, mis à part l'image

Les différences observées entre les PÉs des adultes et des enfants dans les mêmes conditions expérimentales démontrent que les processus sous-tendant le traitement lexico-sémantique sont déjà acquis chez les enfants de 4 ans 6 mois à 8 ans 9 mois, et que ceux de l'accord en genre entre le déterminant, le nom et l'adjectif, n'ont pas encore atteint leur pleine maturité, en dépit du fait que les enfants montrent des comportements neurocognitifs qui traduisent une sensibilité à ces erreurs. En effet, les latences plus tardives et les topographies plus largement distribuées démontrent que ces processus prennent plus de temps à s'exécuter, et possiblement qu'ils ne seraient pas encore automatisés chez les jeunes participants. Ces données sont cohérentes avec des études comportementales menées sur l'accord du verbe en français (Franck et al., 2004). Ce développement relativement tardif de PÉs liés à l'accord morphosyntaxique met en relief le développement et la consolidation en continu chez les enfants d'âge scolaire. Friederici (2002) propose que les processus neurocognitifs (tels que reflétés par l'onde biphasique LAN/P600) se mettent en place dès l'âge de 3 ans. Depuis cette revue de littérature, on a observé ce schème à des âges différents en lien avec des processus morphosyntaxiques variés : la flexion verbale en anglais vers 8 ans (Atchley et al., 2006), le cas entre 3 ans (nominatif) et 6 ans (accusatif), en allemand (Schipke et al., 2011), et pour le pluriel en allemand vers l'âge de 11 ans (Clahsen et al., 2007, voir Royle & Courteau, 2013 pour de plus amples détails). Il semble donc que la consolidation neuro-cognitive de processus grammaticaux se poursuive et ne devienne « adulte » qu'à l'adolescence dans certains cas.

----- CONCLUSION -----

La présente étude s'est penchée sur les processus sous-tendant la sémantique lexico-conceptuelle et l'accord nominal en genre chez les enfants neurotypiques. Les données montrent que les enfants tout-venant maîtrisent les processus linguistiques utilisés par les adultes, avec néanmoins des différences qui mettent en évidence un processus de maturation neurocognitif. Nos résultats en lien avec la sémantique lexico-conceptuelle montraient que la topographie de l'effet de la N400, chez les enfants de 4 à 9 ans, incluait les zones frontales et centro-pariétales, comparativement aux adultes où elle ciblait uniquement les zones centro-pariétales dans les mêmes conditions (Royle et al., 2013). Cette même différence de distribution avait été observée chez des participants de 19 mois par Friedrich & Friederici (2004). Par contre, Cummings et Ceponiene (2010) avaient observé, de leur côté, des distributions similaires de la N400, essentiellement centro-pariétales, chez des jeunes

participants de 7 ans et des adultes. Il se pourrait que la focalisation de la N400 vers les zones centro-pariétales du scalp s'effectue avant l'âge de 7 ans. Dans ce cas, l'effet N400 présent dans les zones frontales refléterait le fait que notre échantillon de participants incluait des enfants plus jeunes, soit de 4 ans 6 mois à 8 ans 9 mois. Des analyses en cours évaluent cette possibilité (Steinhauer & Royle, 2013).

Nos résultats montrent que la détection de l'accord en genre entre le nom et l'adjectif semble être aussi rapide en moyenne que chez les adultes. En effet, un schème d'onde biphasique, la LAN-P600, et la latence des deux composantes correspondaient presque exactement à celles induites chez des adultes dans les mêmes conditions expérimentales (Royle et al., 2013). Des différences topographiques sont néanmoins observables : la négativité, chez les enfants, est largement distribuée avec une tendance plus centrale, tandis qu'elle était latéralisée à gauche chez les adultes. La positivité est largement distribuée chez les enfants et postérieure chez les adultes. De plus, la LAN présente une amplitude environ deux fois plus élevée chez les enfants que chez les adultes. Toutefois, l'amplitude de la P600 est semblable pour les deux groupes. Puisqu'une amplitude réduite traduirait un traitement plus automatisé (Kutas & Federmeier, 2000, Wray & Weber-Fox, 2013), nos résultats indiqueraient que la première analyse morphosyntaxique, soit la LAN, n'est pas encore automatisée chez les jeunes participants, contrairement aux processus liés à la réanalyse syntaxique, reflétée par la P600, laquelle serait similaire à celle des adultes.

En conclusion, les données présentées permettent de postuler que les enfants francophones sont sensibles aux erreurs sémantiques et morphosyntaxiques des énoncés oraux présentés. De plus, la méthode de PÉs nous permet de sonder ces habiletés linguistiques en compréhension, habiletés souvent difficiles à évaluer avec des moyens classiques, sans demander aux enfants de faire des tâches explicites. Cette méthodologie ouvre la voie à des recherches sur le traitement du langage dans les populations qui sont souvent réfractaires à l'évaluation traditionnelle, et permettra de sonder la maîtrise du langage en utilisant des moyens adaptatifs, subtils et sensibles à la dynamique temporelle du langage.

----- BIBLIOGRAPHIE -----

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. Doi:10.1016/j.bandl.2005.08.005

Clahsen, H., Lück, M., Hahne, A. (2007). How children process over-regularizations: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Child Language*, 34(1), 601-622. Doi: 10.1017/S0305000907008082

Courteau, E., Royle, P., Gascon, A., Marquis, A., Drury, J.E., Steinhauer, K. (2013). Gender concord and semantic processing in French children: An auditory ERP study. In S. Baiz, N. Goldman, R. Hawkes (Eds), *Proceedings of the 37th annual Boston University Conference on Language Development*, Vol. 1 (pp. 87-99). Somerville, MA: Cascadilla. Consulté le 01.09.2015 de Phaedra Royle:
http://www.eoa.umontreal.ca/documents/pdf/publicationsRoyleP_GenderConcordSemanticProcessing.pdf

Cummings, A., Ceponiene, R., Dick, F., Saygin, A.P., Townsend, J. (2008). A developmental ERP study of verbal and non-verbal semantic processing. *Brain Research*, 1208, 137-149. Consulté le 01.09.2015 de PMC: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2423212/>

Cummings, A., Ceponiene, R. (2010). Verbal and nonverbal semantic processing in children with developmental language impairment. *Neuropsychologia*, 48(1), 77-85. Consulté le 01.09.2015 de PMC: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2794944/>

Foucart, A., Frenck-Mestre, C. (2012). Can late L2 learners acquire new grammatical features? Evidence from ERPs and eye-tracking. *Journal of Memory and Language*, 66(1), 226-248. Consulté le 01.09.2015 de Cheryl Frenck: <http://www.frenck.us/PDFS/FoucartFrenckMestre2012.pdf>

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(2-3), 147-180. Consulté le 01.09.2015 de Université de Genève: http://www.unige.ch/fapse/psycholinguistique/files/8514/2183/7421/Franck_Cronel-Ohayon_Chillier_Frauenfelder_Hamann_Rizzi_Zesiger_2004.pdf

Friederici, A.D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(2), 78-84. Consulté le 01.09.2015 de Science Direct: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364661300018398>

Friedrich, M., Friederici A.D. (2004). N400-like semantic incongruity effect in 19-month-olds: processing known words in picture contexts. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(8), 1465-1477. Doi: 10.1162/0898929042304705

Gascon, A., Lebel, V., Royle, P., Drury, J.E., Steinhauer, K. (2011). *Task effects on ERPs for semantics and gender in French*. Communication présentée au 10^e symposium de Psycholinguistique, Donostía-San Sebastian, Espagne.

Khomsi, A. (2001). *Evaluation du langage oral*. Paris: ECPA.

Kutas, M., Federmeier, K.D. (2000). Thirty Years and Counting: Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, 62, 621-647. Consulté le 01.09.2015 de Université d'Arizona: http://apsychoserver.psych.arizona.edu/jjbareprints/psyc501a/readings/Kutas_Federmeier_2011_AnnRevPsych.pdf

Labelle, M., Valois, D. (2003). Floated quantifiers, quantifiers at a distance, and logical form in the acquisition of L1 French. In S. Baiz, N. Goldman, R. Hawkes (Eds), *BUCLD 27: Proceedings of the 27th annual Boston University Conference on Language Development*, Vol.2 (pp. 473-483). Somerville, MA: Cascadilla. Consulté le 01.09.2015 de Marie Labelle UQAM: http://www.labellemarie.uqam.ca/Labelle/Acquisition_files/FloatedQ.pdf

Luck, S.J. (2005). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge, MA: MIT Press.

Molinaro, N., Barber, H.A., Carreiras, M. (2011). Grammatical agreement processing in reading: ERP findings and future directions. *Cortex*, 48(8), 908-930. Doi:10.1016/j.cortex.2011.02.019

Royle, P., Toupin, J., Bourguignon, N., Trudeau N., Valois, D. (2010). L'accord de l'adjectif chez les enfants francophones avec un trouble spécifique du langage. *Spectrum*, 2, 1-18. Consulté le 01.09.2015 de Phaedra Royle:
<http://www.eoa.umontreal.ca/documents/pdf/spectrumVol2RoyleTSL.pdf>

Royle, P., Valois, D. (2010). Acquisition of adjectives in Quebec French as revealed by elicitation data. *Journal of French Language Studies*, 10(3), 313-338. Consulté le 01.09.2015 de Phaedra Royle:
http://www.eoa.umontreal.ca/documents/pdf/publicationsRoyleP_RevisedAcquisitionFrenchFormat.pdf

Royle, P., Courteau, E. (2013). Language processing in children with specific language impairment: a review of event-related potential studies. In L.T. Klein, V. Amato (Eds), *Language processing: New research* (pp. 33-64). Hauppauge, NY: Nova Science Publishers. Consulté le 01.09.2015 de Phaedra Royle:
http://www.eoa.umontreal.ca/documents/pdf/publicationsRoyleP_languageProcessingSpecificImpairment.pdf

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. Consulté le 01.09.2015 de Phaedra Royle:
http://www.eoa.umontreal.ca/documents/pdf/publicationsRoyleP_TasksEffects_auditoryProcessing.pdf

Schipke, C.S., Friederici, A.D., Oberecker, R. (2011). Brain responses to case-marking violations in German preschool children. *Neuroreport*, 22(16), 850-854.

Steinhauer, K., Connolly J.F. (2008). Event-related potentials in the study of language. In B. Stemmer, H.A. Whitaker (Eds), *Handbook of the neuroscience of language* (91-104). New York: Elsevier Ltd. Consulté le 01.09.2015 de University College Dublin:
<http://www.ucd.ie/artspgs/langimp/Handbook-Neuroscience-Of-Language.pdf>

Steinhauer, K., Drury, J.E. (2012). On the early left-anterior negativity (ELAN) in syntax studies. *Brain and Language*, 120(2), 135-162. Consulté le 01.09.2015 de Mc Gill University:
https://www.mcgill.ca/neurocoglab/files/neurocoglab/2012_steinhauer_drury_brainlang_elan.pdf

Steinhauer, K., Fromont, L., Royle, P. (en préparation). Child language acquisition and ERPs: Age or proficiency effects?

Steinhauer, K., Royle, P. (2013). *Similarities and differences between L1 and L2 grammar acquisition: An ERP approach*. The 8th International Workshop on Neurobilingualism. Groningen, Pays Bas: Rijksuniversiteit

Silva-Pereyra, J., Rivera-Gaxiola, M., Kuhl, P.K. (2005). An event-related brain potential study of sentence comprehension in preschoolers: semantic and morphosyntactic processing. *Cognitive Brain Research*, 23(2-3), 247-258. Doi:10.1016/j.cogbrainres.2004.10.015

Trudeau, N., Frank, H., Poulin-Dubois, D. (1999). Une adaptation en français du MacArthur Communicative Development Inventory. *Revue canadienne d'orthophonie et d'audiologie*, 23(2), 61-73. Consulté le 01.09.2015 de CJSLPA : http://cjslpa.ca/files/1999_JSLPA_Vol_23/No_02_45-98/Trudeau_Frank_Poulin-Dubois_JSLPA_1999.pdf

Valois, D., Royle, P., Sutton, A., Bordua-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(2), 339-366. Doi: 10.1353/cjl.0.0050

Van Heugten, M., Shi, R. (2009). French-learning toddlers use gender information on determiners during word recognition. *Developmental Science*, 12(3), 419-425. Consulté le 01.09.2015 de LSCP: http://www.lscp.net/persons/marieke/Research_files/VanHeugtenShi2009.pdf

Willems, R.M., Özyürek, 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. Consulté le 01.09.2015 de MIT Press Journals: <http://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/jocn.2008.20085>

Wray, A.H., Weber-Fox, C. (2013). Specific aspects of cognitive and language proficiency account for variability in neural indices of semantic and syntactic processing in children. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 5(1), 149-171. Consulté le 01.09.2015 de PMC: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3676731/>