

Perception des frontières prosodiques intonatives du français par des natifs : Études comportementale et électroencéphalographique

Lei Xi¹ Rachid Ridouane¹ Frédéric Isel^{1, 2}

(1) Laboratoire de Phonétique et Phonologie (CNRS & Sorbonne Nouvelle)

(2) Modèles, Dynamiques, Corpus (CNRS & Université Paris Nanterre)

lei.xi@sorbonne-nouvelle.fr, rachid.ridouane@sorbonne-nouvelle.fr, frederic.isel@parisnanterre.fr,

RESUME

Deux expériences sur la désambiguïsation syntaxique par prosodie sont exposées dans cette étude. Dans l'expérience perceptive, nous avons demandé à 20 francophones natifs de compléter des phrases localement ambiguës afin de déterminer leur capacité à assigner correctement les mots cibles à leurs fonctions syntaxiques sur la base des indices prosodiques disponibles. Dans l'expérience électroencéphalographique (EEG), le signal continu de 20 francophones natifs a été enregistré pendant qu'ils écoutaient les mêmes phrases ambiguës. Les résultats perceptifs ont montré que les participants, bien que natifs du français, ont eu des difficultés à établir la fonction syntaxique du mot cible par l'indice prosodique. En revanche, les données neurocognitives suggèrent que les frontières intonatives ont été analysées comme l'atteste la *Closure Positive Shift* (CPS), présentant un maximum autour de 400 à 500 ms après l'onset de la dernière syllabe qui précède la frontière prosodique. Nos données soulignent l'importance du contexte prosodique complet et informatif en perception de la parole.

ABSTRACT

Perception of French prosodic boundary by native speakers: behavioral and electroencephalographic studies

Two experiments exploring the role of prosody in syntactic disambiguation are presented in this study. In a perceptual experiment, we asked 20 French native speakers to complete locally ambiguous sentences. The aim was to determine their ability to correctly assign target words to their syntactic functions based on available prosodic cues. In an electroencephalography (EEG) experiment, the EEG signal of 20 French natives was recorded while they listened to the same ambiguous sentences. The results showed that, behaviorally, listeners, even if they are native speakers of French, had difficulty establishing the correct syntactic relationship between the target word and the preceding verb. In contrast, at the neurocognitive level, prosodic boundary processing was associated with a component thought to be related to intonation boundary processing, i.e., a Closure Positive Shift (CPS), peaking around 400-500 ms after the onset of the last syllable preceding the intonational phrase boundary. We discussed our results in two frameworks of sentence processing.

MOTS-CLES : Perception de la frontière prosodique, EEG, ERP, CPS, français

KEYWORDS : Perception of prosodic boundary, EEG, ERP, CPS, French

1 Introduction

L'encodage et le décodage de la frontière prosodique jouent un rôle fondamental dans la production et dans la perception de la parole. Le rôle de la frontière prosodique est d'autant plus crucial que certaines structures syntaxiques ambiguës ne peuvent se distinguer que par l'intonation, utilisée très tôt dans le traitement par l'auditeur pour prédire la structure syntaxique, résoudre l'ambiguïté et ainsi décoder l'information émise par le locuteur (Beach, 1991 ; Price et al., 1991 ; Marslen-Wilson et al., 1992 ; Nagel et al., 1996 ; Speer et al., 1996 ; Kjelgaard & Speer, 1999). Le décodage des indices fournis par la prosodie permet ainsi à l'auditeur d'établir les bonnes relations entre les unités syntaxiques et de désambiguïser le sens des phrases en fonction de l'intention du locuteur (Lehiste, 1973 ; Schafer et al., 2000 ; Carlson et al., 2009a, 2009b).

La plupart des études qui ont examiné comment la prosodie aide à désambiguïser des phrases syntaxiquement ambiguës se sont basées sur des tâches de production et/ou de perception. Pour le français, il y a notamment les travaux de Millotte et al. (2007, 2008) qui ont examiné la désambiguïsation au niveau du syntagme phonologique, avec les paires de phrases comme « *Le petit chien # mord la laisse qui le retient.* » vs « *Le petit chien mort # sera enterré demain.* ». Leurs études de production et de perception ont montré que les francophones natifs ont spontanément produit les indices prosodiques (montée de F0 et allongement final, Di Cristo, 1998 ; Jun & Fougeron, 2002) qui différencient les paires de phrases ambiguës, sans même se rendre compte de l'ambiguïté. D'autre part, les auteurs ont également montré que les francophones natifs ont recouru à ces indices prosodiques pour prédire la structure syntaxique et résoudre l'ambiguïté syntaxique dans une tâche de perception.

La perception des frontières prosodiques peut aussi être étudiée en neuroimagerie, notamment à partir de l'examen électroencéphalographique (EEG) des potentiels évoqués. Un de ces potentiels évoqués, la *Closure Positive Shift* (CPS), découvert en allemand par Steinhauer et al. (1999), est supposé marquer le traitement de frontières d'intonation majeure (et non de pauses). Cette composante de polarité positive présente une latence du pic environ 500 ms après la frontière prosodique et est distribuée bilatéralement sur les électrodes centro-pariétales. Après avoir été montrée en allemand (voir aussi Isel et al., 2005), la CPS a été répliquée dans différentes langues : en chinois (Li et al., 2008 ; Li & Yang, 2010), en anglais (Peter et al., 2014), en néerlandais (Bögels et al., 2011), en coréen (Hwang & Steinhauer, 2011) et en portugais (Batista et al., 2023), entre autres. Ainsi, Bögels et al. (2011) concluent dans leur revue de questions sur la CPS que cette déflexion positive constitue un marqueur fiable de frontière prosodique, indépendant de la modalité sensorielle. En effet, la CPS a été trouvée en lecture silencieuse (Steinhauer & Friederici, 2001 ; Drury et al., 2016), mais aussi lors du traitement de parole délexicalisée ou synthétisée (Pannekamp et al., 2005 ; Honbolygó et al., 2016) ou encore de phrasé musical (Knösche et al., 2005 ; Neuhaus et al., 2006 ; Glushko et al., 2016). Des études ultérieures (Kerkhofs et al., 2008 ; Glushko et al., 2016) ont apporté de nouvelles précisions : la CPS peut être déclenchée par des frontières prosodiques de tailles différentes, mais son amplitude peut varier en fonction de la saillance perceptive. Prises dans leur ensemble, ces études multimodales suggèrent que lorsqu'un auditeur ou un lecteur s'appuie sur les informations prosodiques pour segmenter et structurer un signal continu (auditif ou visuel) en entités discrètes de taille variable, une CPS est observée. Toutefois, à ce jour, ce résultat neurophysiologique est difficilement généralisable à toutes les langues, puisque certaines, comme le français, ont été peu étudiées. À notre connaissance, il n'existe qu'une seule étude EEG (Gilbert et al., 2023), portant sur le français canadien, qui a répliqué une CPS en réponse au traitement de frontières prosodiques par des auditeurs francophones. Afin d'apporter des données complémentaires, cette étude a été conçue dans le but d'examiner le traitement de frontières prosodiques situées dans deux positions différentes (clôture précoce (CP) versus clôture tardive (CT)) chez des natifs du français métropolitain. Pour ce faire, nous avons d'abord analysé nos

données en production et en perception, avant de procéder à l’analyse par EEG. L’objectif est double : 1) d’une part, au niveau comportemental, déterminer si les francophones natifs utilisent en temps réel les indices prosodiques pour résoudre des cas d’ambiguïté syntaxique en français ; 2) d’autre part, au niveau neurocognitif, vérifier que le traitement prosodique de clôtures précoces ou tardives dans des phrases localement ambiguës du français module la CPS. La contribution majeure de cette étude est d’examiner si la CPS est déclenchée lors de la perception de la frontière prosodique du français chez des locuteurs natifs en combinant des mesures comportementales perceptives et des mesures neurophysiologiques.

2 Partie expérimentale

2.1 Stimuli

Inspirés de Pauker (2013), les stimuli utilisés dans les deux expériences sont construits à partir de 50 paires de phrases localement ambiguës (cf. Ces phrases sont disponibles sur [la plateforme OSF](#)). Chaque paire de phrases a été construite de sorte à avoir les frontières prosodiques situées dans deux positions différentes, l’une précédant le syntagme nominal, compatible avec une clôture précoce (CP) et l’autre suivant le syntagme nominal, compatible avec une clôture tardive (CT). Un exemple de ces paires de phrases est présenté dans la TABLE 1. Le même syntagme nominal dans chaque paire (ici ‘le rat’) a deux fonctions syntaxiques différentes, qui sont *sujet* dans la condition CP et *complément d’objet direct* dans la condition CT. En plus de ces 100 phrases (50 paires de phrases), 50 autres phrases, ne présentant aucune ambiguïté, ont été ajoutées pour servir de distracteurs (par exemple, « Chaque fois que j’allais à la piscine, il y avait du monde. »).

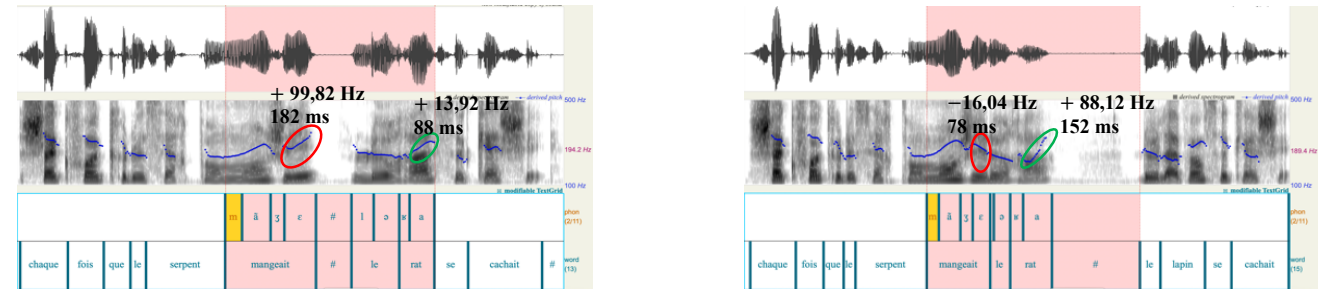
Condition prosodique	Exemple
Clôture précoce (CP) (<i>Early Closure</i>)	Chaque fois que le serpent mangea it , le rat se cachait.
Clôture tardive (CT) (<i>Late Closure</i>)	Chaque fois que le serpent mangea it le rat , le lapin se cachait.

TABLE 1 : Exemple d’une paire de phrases utilisée dans cette étude

Les 150 phrases ont été lues dans un ordre aléatoire par une locutrice native du français dans la chambre sourde du Laboratoire de Phonétique et Phonologie (CNRS & Sorbonne Nouvelle). Les phrases enregistrées ont été digitalisées à 16,000 Hz et à 16 Bits. Afin de mieux examiner les stimuli au niveau de la désambiguïsation syntaxique, nous avons procédé à deux analyses : acoustique et perceptive.

2.1.1 Caractéristiques acoustiques

Des analyses acoustiques et statistiques ont été effectuées pour déterminer les différences de F0 et de durée des voyelles finales¹ du syntagme verbal (SV) (en rouge dans la TABLE 1) et du syntagme nominal (SN) (en vert) dans les deux conditions CP et CT. Les analyses acoustiques et statistiques ont montré que la locutrice enregistrée avait bien réalisé les indices acoustiques attendus pour marquer la frontière du syntagme intonatif : la montée de F0, l’allongement final et la pause.



¹ Les T tests ont révélé un effet significatif de la Condition (2 modalités : CP et CT) sur chacune des variables dépendantes mesurées : la F0 et la durée, tant pour les SN (F0 : $t(49)=-6,72$, $p<.001$; durée : $t(49)=-10,89$, $p<.001$) que pour les SV (F0 : $t(49)=14,43$, $p<.001$; durée : $t(49)=26,3$, $p<.001$). Par ailleurs, une pause est systématiquement marquée à la frontière du syntagme intonatif de chaque phrase (FIGURE 1).

Nous avons utilisé une analyse de covariance (ANCOVA) pour comparer le nombre de réponses correctes entre les conditions CP et CT, en prenant compte le bloc (1 ou 2) comme facteur covariable. Nous avons constaté un effet significatif pour la « condition prosodique » ($F(1, 37)=36,1, p<.001$), mais aucun effet significatif pour le « bloc » ($F(1, 37)=1,6, p=0,32$).

2.2 Expérience électroencéphalographique (EEG)

2.2.1 Stimuli et participants

Nous avons réalisé une deuxième expérience en utilisant la technique EEG pour examiner les processus neurocognitifs impliqués dans le traitement de frontières prosodiques en français. Les stimuli étaient constitués des 150 phrases non tronquées présentées dans la section 2.1. Pour chacune des 100 phrases localement ambiguës, deux marqueurs d'événement (*triggers*) ont été placés à l'onset de la dernière syllabe du syntagme verbal et du syntagme nominal. Cela nous a permis de comparer les réponses électriques du cerveau (potentiels évoqués) en fonction de la présence d'une frontière majeure, mineure ou en l'absence de la frontière prosodique.

Nous avons recruté 20 locuteurs ayant le français comme seule langue maternelle (6H, 14F ; âge moyen : 22,2 ans, $ET=3,3$ ans) pour participer à cette expérience. Tous les participants sont droitiers (Oldfield, 1971), et ont une vision normale ou corrigée. Aucun d'entre eux ne présente de signe de trouble langagier, auditif, neurologique ou psychiatrique. Par ailleurs, aucun des 20 participants n'a pris part à l'expérience perceptive, garantissant qu'ils n'ont jamais écouté les stimuli utilisés dans l'expérience EEG.

2.2.2 Procédure

Le protocole expérimental a été examiné et approuvé par le Comité d'Éthique de Recherche de la Sorbonne Nouvelle (Avis CER-USN-01-2023) et par le Service de Protection des Données du CNRS (2-22087). L'expérience s'est déroulée au Laboratoire MoDyCo (CNRS & Université Paris Nanterre). Les 150 stimuli ont été aléatoirement répartis en 5 blocs, avec 30 stimuli dans chaque bloc. Cette répartition a permis aux participants de faire une courte pause entre chaque bloc. Les participants ont été testés individuellement dans une pièce isolée de plans électrique et acoustique. Les participants étaient confortablement installés sur un fauteuil, face à un écran d'ordinateur (à 80 cm de leurs yeux) et un haut-parleur. L'expérimentateur a donné la consigne suivante : « *Vous allez écouter 150 phrases en français. Après chaque phrase, un mot s'affiche sur l'écran. Si ce mot apparaît dans la phrase que vous venez d'entendre, vous appuyez, avec la main droite, sur la touche « J » du clavier pour le choix « oui » ; s'il n'apparaît pas dans la phrase, vous appuyez sur la touche « F » du clavier pour le choix « non » (tâche de vérification lexicale). Il faut rester le plus immobile possible pendant l'expérience.* ». Après l'explication des consignes, un bloc d'entraînement constitué de 9 stimuli (qui ne font pas partie des 150 stimuli) a été proposé au participant afin qu'il se familiarise avec la tâche expérimentale. L'expérience était lancée une fois que le participant avait confirmé avoir bien compris la consigne. Les stimuli ont été diffusés un par un par le logiciel *Presentation* (version 24.0), avec le mot cible projeté sur l'écran à la fin de chaque stimulus. Entre chaque bloc (tous les 30 stimuli), une pause d'un temps illimité a été insérée pour que le participant puisse se reposer.

Les signaux EEG ont été enregistrés en continu à l'aide de 64 électrodes (Ag-AgCl électrodes ; Bisomei ActiveTwo system, Amsterdam, Pays-Bas) placées sur un bonnet, avec deux électrodes supplémentaires au niveau des mastoïdes. Afin de détecter les mouvements oculaires, quatre électrodes EOG (électrooculographie) ont été utilisées, une à gauche et une à droite de chaque œil, et une au-dessus et une au-dessous de l'œil gauche. Les signaux EEG étaient numérisés à une fréquence d'échantillonnage de 512 Hz. Un filtrage en temps réel a été appliqué avec une bande passante entre 0,05 Hz et 100 Hz.

2.2.3 Prétraitement des signaux EEG

Les données ont été prétraitées hors ligne à l'aide des logiciels Matlab (R2023b) et EEGLAB (Delorme & Makeig, 2004). Chaque ensemble de données EEG continues a été re-référencées aux deux électrodes mastoïdes, ré-échantillonnées à 256 Hz et filtrées dans une bande passante de 0,5 à 30 Hz. Ensuite, les données ont été visuellement inspectées pour éliminer les segments affectés par d'importants artéfacts de mouvements de la tête et remplacer les canaux de signal de mauvaise qualité par des données d'interpolation spatiale. Les artéfacts, comprenant les mouvements oculaires et clignements des yeux, ont été supprimés à l'aide d'une Analyse en Composantes Indépendantes (ICA). Des segments de données (*epochs*) correspondant aux deux conditions prosodiques (CP et CT) ont été extraits dans ERPLAB (Lopez-Calderon & Luck, 2014) : le segment temporel a été choisi entre 200 ms avant le trigger (ligne de base) et 1500 ms après (i.e. une époque de [-200, 1500]). Tout segment présentant un voltage dépassant 100 μ V dans n'importe quel canal du scalp a été supprimé. Le taux de rejet de chaque participant était compris entre 1% et 30% (moyenne de rejet : 13,22%). Les signaux restants, exempts d'artéfacts, ont été inclus dans la procédure statistique de grand moyennage.

En nous basant sur les études antérieures utilisant la CPS comme marqueur de frontières prosodiques, nous avons défini trois régions d'intérêt (ROI), avec 14 électrodes dans chaque ROI : frontale (F1, F3, F5, FP1, AF3, AF7 ; FPz, Fz ; F2, F4, F6, FP2, AF4, AF8) ; centrale (FC1, FC3, FC5, C1, C3, C5 ; FCz, Cz ; FC2, FC4, FC6, C2, C4, C6) et pariétale (CP1, CP3, CP5, P1, P3, P5 ; CPz, Pz ; CP2, CP4, CP6, P2, P4, P6). Pour déterminer si la CPS est déclenchée par la perception des frontières prosodiques, les conditions CP et CT ont été examinées séparément. Après une inspection visuelle du signal ERP, trois fenêtres temporelles (FT) ont été sélectionnées pour l'analyse entre CP vs nonCP (syllabes en rouge dans TABLE 1) : [0-400], [400-800] et [800-1200], et ensuite pour CT vs nonCT (syllabes en vert) : [0-450], [450-1000] et [1000-1400].

Les valeurs de l'amplitude moyenne des électrodes ont ensuite été extraites à l'aide du logiciel EPRLAB (Lopez-Calderon & Luck, 2014) dans les trois FTs et pour toutes les conditions prosodiques. Les amplitudes moyennes ont été analysées à l'aide d'un modèle linéaire mixte pour chaque FT. Cela implique de tester l'effet de la frontière prosodique (deux niveaux : CP vs nonCP ; CT vs nonCT) et l'effet des ROIs (trois niveaux : frontale vs centrale vs pariétal). Les participants ont été considérés comme facteur à effet aléatoire. Le modèle établi était donc le suivant : [Amplitude moyenne ~ Condition prosodique * ROI + (1 | Participant)] et puis analysé dans JASP (Version 0.18.1).

2.2.4 Résultats

2.2.4.1 La condition CP vs nonCP

Les modèles ont révélé une différence significative pour toutes les FTs : avec une amplitude significativement plus positive dans la condition CP que nonCP dans la FT 400-800 ms. En revanche, dans les deux FTs [0-400 ms] et [800-1200 ms], l'amplitude de l'onde était significativement plus négative dans la CP que nonCP (FIGURE 2). Aucune interaction entre condition prosodique et ROI n'a été observée pour les trois FTs (TABLE 2). L'absence d'interaction indique que la CPS observée dans la FT [0-400 ms] n'a pas varié à travers les trois ROIs (FIGURE 2).

Fenêtre temporelle (FT) (ms)	Effet de condition prosodique	Interaction (Condition prosodique * ROI)
0-400	b= -0,29, SE=0,03, t= -8,74, p<.001	b= -0,04, SE=0,05, t= -0,77, p=0,44
400-800	b=0,37, SE=0,05, t=6,84, p<.001	b=0,007, SE=0,08, t=0,10, p=0,92
800-1200	b= -0,61, SE=0,07, t= -9,42, p<.001	b= -0,07, SE=0,09, t= -0,76, p=0,45

TABLE 2 : résultats du modèle linéaire mixte pour la condition CP vs nonCP dans les trois FTs

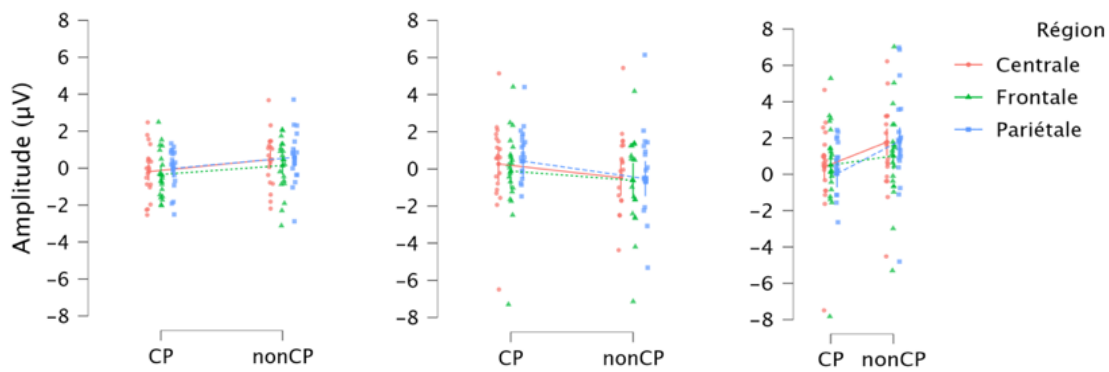


FIGURE 2 : Variation d'amplitudes moyennes de la condition CP vs nonCP pour toutes les électrodes des ROIs dans les trois FTs (0-400 ms : gauche, 400-800 ms : milieu, 800-1200 ms : droite)

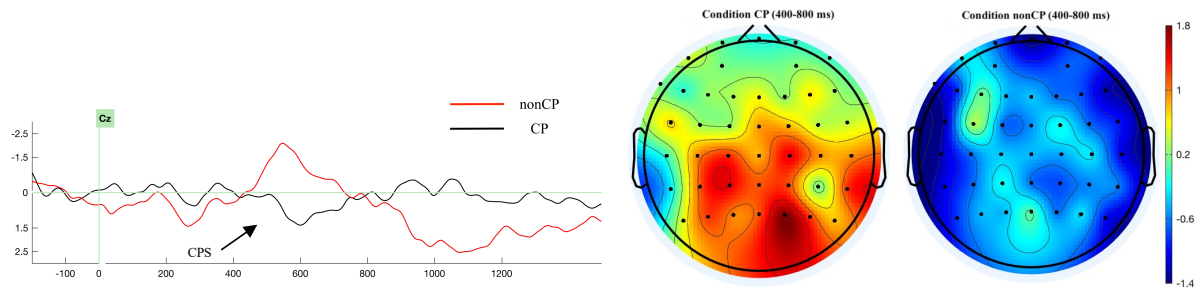


FIGURE 3 : Effet CPS sur l'électrode Cz et cartes topographiques pour la condition CP (gauche) vs nonCP (droite)

2.2.4.2 La condition CT vs nonCT

Le même schéma de résultat a été trouvé dans les trois FTs pour la condition CT vs nonCT : l'amplitude moyenne de la CPS est significativement plus positive dans la condition CT que nonCT, indépendamment de la ROI, mais uniquement dans la FT [450-1000 ms] (TABLE 3 & FIGURE 4).

Fenêtre temporelle (FT) (ms)	Effet de condition prosodique	Interaction (Condition prosodique * ROI)
0-450	$b = -0,55$, $SE = 0,04$, $t = -13,63$, $p < .001$	$b = -0,007$, $SE = 0,06$, $t = -0,12$, $p = 0,9$
450-1000	$b = 0,16$, $SE = 0,05$, $t = 2,91$, $p = 0,004$	$b = 0,02$, $SE = 0,08$, $t = 0,22$, $p = 0,83$
1000-1400	$b = -0,29$, $SE = 0,06$, $t = -4,78$, $p < .001$	$b = 0,09$, $SE = 0,09$, $t = 1,02$, $p = 0,31$

TABLE 3 : résultats du modèle linéaire mixte pour la condition CT vs nonCT dans les trois FTs

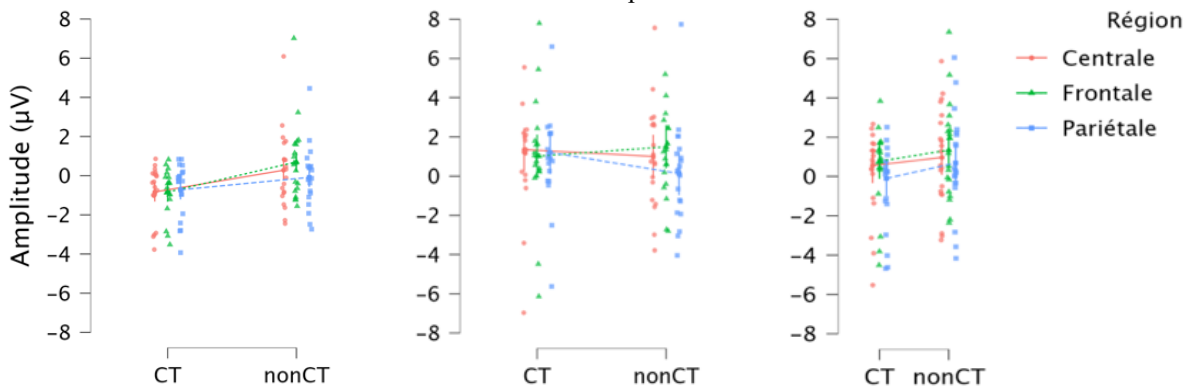


FIGURE 4 : Variation d'amplitudes moyennes de la condition CT vs nonCT pour toutes les électrodes des ROIs dans les trois FTs (0-450 ms : gauche, 450-1000 ms : milieu, 1000-1400 ms : droite)

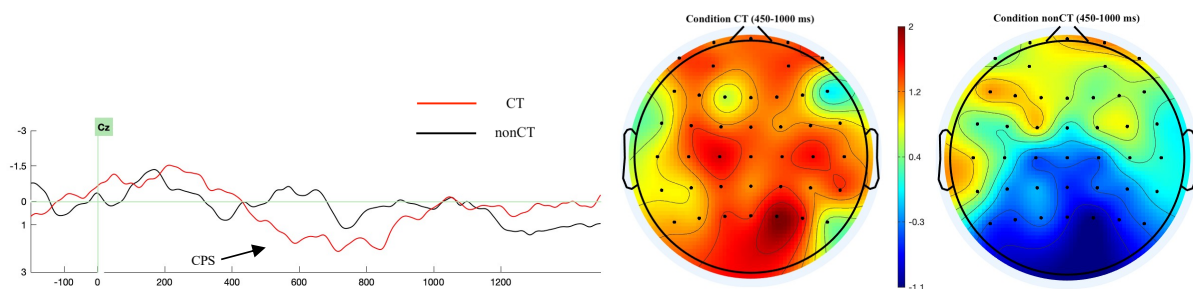


FIGURE 5 : Effet CPS sur l'électrode Cz et cartes topographiques pour la condition CT (gauche) vs nonCT (droite)

3 Discussion et conclusion

Dans ces deux expériences, nous avons étudié les performances comportementales et neurocognitives d'auditeurs francophones natifs lors de l'écoute de syntagmes nominaux inclus dans des phrases localement ambiguës. L'expérience perceptive a montré que les auditeurs avaient des difficultés à identifier correctement la fonction syntaxique des syntagmes nominaux lorsqu'ils agissent en tant que sujets (i.e. quand le syntagme nominal est situé après la frontière). Bien qu'ils aient donné plus de réponses CP pour la condition CP et plus de réponses CT pour la condition CT, le nombre de réponses correctes différait significativement entre les deux conditions. En effet, les auditeurs natifs ont préféré l'interprétation CT, ce qui a entraîné des difficultés de traitement dans les structures CP. Au contraire, les résultats de l'expérience EEG ont montré que sur le plan neurocognitif, les conditions CP et CT ont été différenciées. La CPS a été déclenchée environ 400-450 ms après la dernière syllabe accentuée avant la frontière, avec une large distribution bilatérale (FIGURES 3 & 5). Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle l'analyse neurocognitive des frontières prosodiques par les locuteurs natifs du français est associée à une CPS. De plus, dans notre étude, la CPS est observée pour les frontières prosodiques situées dans deux syntagmes intonatifs différents (CP et CT). Ces données convergent avec celles d'études antérieures menées dans d'autres langues, et soutiennent l'idée que la CPS constitue un marqueur neurocognitif fiable et probablement universel de frontières prosodiques. Lorsque nous comparons les résultats des données perceptives à ceux des données EEG, une contradiction apparaît. En effet, l'expérience perceptive a révélé que le syntagme nominal est traité tantôt comme sujet tantôt comme complément d'objet dans la condition CP, suggérant ainsi une moindre saillance perceptive de la frontière prosodique pour CP par rapport à CT. Cependant, les résultats EEG montrent que le cerveau a été sensible aux frontières intonatives comme l'atteste la CPS observée quelle que soit la position de la clôture.

Cette apparente contradiction peut être attribuée à la différence entre les stimuli présentés lors des deux expériences. Dans l'étude perceptive, les phrases ont été tronquées après le syntagme nominal ambigu, privant ainsi les auditeurs d'une structure prosodique complète et contextuelle, les limitant à un traitement local (qui peut être d'autant plus influencé par la fréquence d'utilisation des verbes comme transitifs ou intransitifs). Cette observation est conforme aux prédictions de l'*Informative Boundary Hypothesis* (Clifton Jr. et al., 2002 ; Watson & Gibson, 2005 ; Carlson et al., 2009a, 2009b) et de *Late Closure Preference* (Frazier, 1979), selon lesquelles l'effet d'une frontière prosodique donnée dépend d'autres frontières apparues avant et après dans la phrase. Lorsque les informations prosodiques ne sont pas suffisamment saillantes pour établir la bonne relation syntaxique entre les syntagmes, les auditeurs ont tendance à attacher automatiquement le mot ambigu à la partie précédente de la phrase, ce qui explique pourquoi certaines conditions CP ont été interprétées comme CT. En revanche, dans l'étude EEG, aucune troncation de phrases n'a été effectuée, permettant ainsi un traitement de la structure syntaxico-prosodique globale (Lee & Garnsey, 2012). Ce contexte prosodique complet et suffisamment informatif a permis au cerveau des auditeurs d'établir et d'ajuster la hiérarchie prosodique et la relation syntaxique entre syntagmes, facilitant ainsi le traitement neurocognitif des deux conditions CP et CT.

Références

- BATISTA A., CATRONAS D., FOLIA V. & SILVA S. (2023). Increased Pre-Boundary Lengthening Does Not Enhance Implicit Intonational Phrase Perception in European Portuguese: An EEG Study. *Brain Sciences*, 13, 441.
- BEACH C. (1991). The Interpretation of Prosodic Patterns at Points of Syntactic Structure Ambiguity: Evidence for Cue Trading Relations. *Journal of memory and language*, 30, 644-663.
- BOERSMA P. & WEENINK D. (2022). *Praat (version 6.2.15): doing phonetics by computer*.
- BÖGELS S., SCHRIEFERS H., VONK W. & CHWILLA D. (2011). Prosodic Breaks in Sentence Processing Investigated by Event-Related Potentials. *Language and Linguistics Compass*, 5/7, 424-440.
- CARLSON K., FRAZIER L. & CLIFTON JR C. (2009a). How prosody constrains comprehension: A limited effect of prosodic packaging. *Lingua*, 119(7), 1066-1082.
- CARLSON K., CLIFTON JR C. & FRAZIER L. (2009b). Nonlocal effects of prosodic boundaries. *Memory & Cognition*, 37(7), 1014-1025.
- CLIFTON JR C., CARLSON K. & FRAZIER L. (2002). Informative Prosodic Boundaries. *Language and Speech*, 45(2), 87-144.
- DELORME A. & MAKEIG S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134, 9-21.
- DI CRISTO A. (1998). Intonation in French. In D. HIRST & A. DI CRISTO, Éd.s., *Intonation Systems A Survey of Twenty Languages*, chapter 11, p. 195-218. Cambridge University Press.
- DRURY J., BAUM S., VALERIOTE H. & STEINHAEUER K. (2016). Punctuation and Implicit Prosody in Silent Reading: An ERP Study Investigating English Garden-Path Sentences. *Frontiers in Psychology*, Volume 7: 1375.
- FRAZIER L. (1979). *On comprehending sentences: Syntactic parsing strategies*. Thèse de doctorat, University of Connecticut, États-Unis.
- GILBERT A., LEE J., WOLPERT M. & BAUM S. (2023). Phrase parsing in a second language as indexed by the closure positive shift: The impact of language experience and acoustic cue salience. *European Journal of Neuroscience*, 58, 3838-3858.
- GLUSHKO A., STEINHAEUER K., DE PRIEST J. & KOELSCH S. (2016). Neurophysiological Correlates of Musical and Prosodic Phrasing: Shared Processing Mechanisms and Effects of Musical Expertise. *PLoS ONE*, 11(5): e0155300.
- HONBOLYÓ F., TÖRÖK Á., BÁNRÉTI Z., HUNYADI L. & CSÉPE V. (2016). ERP correlates of prosody and syntax interaction in case of embedded sentences. *Journal of Neurolinguistics*, 37, 22-33.
- HWANG H. & STEINHAEUER K. (2011). Phrase Length Matters: The Interplay between Implicit Prosody and Syntax in Korean “Garden Path” Sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23:11, 3555-3575.
- ISEL F., ALTER K. & FRIEDERICI A. (2005). Influence of Prosodic Information on the Processing of Split Particles: ERP Evidence from Spoken German. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17:1, 154-167.
- JASP TEAM. (2023). *JASP (Version 0.18.1)*.
- JUN S. & FOUGERON C. (2002). Realization of Accentual Phrase in French Intonation. *Pobus*, 14, 147-172.

- KERKHOFS, R., VONK, W., SCHRIEFERS, H., CHWILLA, D. (2008). Sentence processing in the visual and auditory modality: Do comma and prosodic break have parallel functions? *Brain Research*, 1224, 102-118.
- KJELGAARD M. & SPEER S. (1999). Prosodic Facilitation and Interference in the Resolution of Temporary Syntactic Closure Ambiguity. *Journal of Memory and Language*, 40, 153-194.
- KNÖSCHE T., NEUHAUS C., HAUEISEN J., ALTER K., MAESS B., WITTE O. & FRIEDERICI A. (2005). Perception of Phrase Structure in Music. *Human Brain Mapping*, 24, 259-273.
- LEE E. & GARNSEY S. (2012). Do contrastive accents modulate the effect of intonational phrase boundaries in parsing? *Lingua*, 122, 1763-1775.
- LEHISTE I. (1973). Phonetic disambiguation of syntactic ambiguity. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 53(1), 380.
- LI W. & YANG Y. (2010). Perception of Chinese Poem and Its Electrophysiological Effects. *Neuroscience*, 168, 757-768.
- LI W., WANG L., LI X. & YANG Y. (2008). Closure Positive Shifts Evoked by Different Prosodic Boundaries in Chinese Sentences. In R. WANG, E. SHEN & F. GU, Éds., *Advances in Cognitive Neurodynamics*, Chapter 88, p. 505-509. Springer.
- LOPEZ-CALDERON J. & LUCK S. (2014). ERPLAB: an open-source toolbox for the analysis of event-related potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, Volume 8, 213.
- MARSLÉN-WILSON W., TYLER L., WARREN P., GRENIER P. & LEE C. (1992). Prosodic Effects in Minimal Attachment. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 45A(1), 73-87.
- MILLOTTE S., RENÉ A., WALES R. & CHRISTOPHE A. (2008). Phonological Phrase Boundaries Constrain the Online Syntactic Analysis of Spoken Sentences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol. 34 No. 4, 874-885.
- MILLOTTE S., WALES R. & CHRISTOPHE A. (2007). Phrasal prosody disambiguates syntax. *Language and cognitive processes*, 22(6), 898-909.
- NAGEL H., SHAPIRO L., TULLER B. & NAWY R. (1996). Prosodic Influences on the Resolution of Temporary Ambiguity During On-Line Sentence Processing. *Journal of Psycholinguistic Research*, Vol. 25 No. 2, 319-344.
- NEUHAUS C., KNÖSCHE T. & FRIEDERICI A. (2006). Effects of Musical Expertise and Boundary Markers on Phrase Perception in Music. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18:3, 472-493.
- OLDFIELD R. (1971). The Assessment and Analysis of Handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, Vol. 9, 97-113.
- PANNEKAMP A., TOEPEL U., ALTER K., HAHNE A. & FRIEDERICI A. (2005). Prosody-driven Sentence Processing: An Event-related Brain Potential Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17:3, 407-421.
- PAUKER E. (2013). *How multiple prosodic boundaries of varying sizes influence syntactic parsing: Behavioral and ERP evidence*. Thèse de doctorat, McGill University, Canada.
- PETER V., MCARTHUR G. & CRAIN S. (2014). Using event-related potentials to measure phrase boundary perception in English. *BMC Neuroscience*, 15, 129.
- PRICE P., OSTENDORF M., SHATTUCK-HUFNAGEL S. & FONG C. (1991). The use of prosody in syntactic disambiguation. *The journal of the Acoustical Society of America*, 90(6), 2956-2970.
- SCHAFER A., SPEER S., WARREN P. & WHITE S. (2000). Intonational Disambiguation in Sentence Production and Comprehension. *Journal of Psycholinguistic Research*, Vol. 29 No. 2, 169-182.
- SPEER S., KJELGAARD M. & DOBROTH K. (1996). The Influence of Prosodic Structure on the Resolution of Temporary Syntactic Closure Ambiguities. *Journal of Psycholinguistic Research*, Vol. 25 No.2, 249-271.

- STEINHAUER K. & FRIEDERICI A. (2001). Prosodic Boundaries, Comma Rules, and Brain Responses: The Closure Positive Shift in EPRs as a Universal Marker for Prosodic Phrasing in Listeners and Readers. *Journal of Psycholinguistic Research*, Vol. 30 No. 3, 267-295.
- STEINHAUER K., ALTER K. & FRIEDERICI A. (1999). Brain potentials indicate immediate use of prosodic cues in natural speech processing. *Nature Neuroscience*, volume 2 no 2, 191-196.
- WATSON D. & GIBSON E. (2005). Intonational phrasing and constituency in language production and comprehension. *Studia linguistica*, 59(2-3), 279-300.
- XI L. & RIDOUANE R. (2022). Quand la syntaxe a besoin de la prosodie : comment les indices prosodiques en français aident les apprenants sinophones à traiter l'information syntaxique – une étude perceptive. In *Actes des 34ème Journées d'Études sur la Parole – JEP 2022 « Parole, Geste, Musique : des unités à leur organisation »*, p. 173-182.