

L'interface cerveau-machine (BCI) pour tester les émotions: étude expérimentale sur la négation en FLE

Brain-Computer Interface (BCI) for Testing Emotions: An Experimental Study on Negation in French L2

Géhane ESSAWY¹

King Saud University -Arabie Saoudite-

Jessawy@ksu.edu.sa

 [0009-0000-2738-0574](https://orcid.org/0009-0000-2738-0574)

Received: 19/10/2025

Accepted: 19/12/2025

Published: 01/01/2026

Résumé

Cette étude expérimentale examine l'état affectif des apprenantes arabophones lors du traitement de phrases négatives en français langue seconde (L2), en s'appuyant sur un système d'interface cerveau-ordinateur (BCI) basé sur l'électroencéphalographie (EEG). L'objectif principal est d'explorer l'impact du type de négation sur les réactions émotionnelles des apprenantes pendant la lecture, en distinguant deux formes linguistiques : la négation métalinguistique (NM) et la négation descriptive (ND). Ces deux types de négation mobilisent des mécanismes cognitifs complexes, notamment l'accès à des représentations métalinguistiques en L2, ce qui pourrait influencer différemment les états affectifs. Cinq dimensions émotionnelles ont été mesurées : la frustration, l'engagement, la méditation ainsi que l'excitation à court terme et à long terme. Nous postulons que le traitement des négations, en particulier métalinguistiques, exige un effort cognitif accru susceptible de générer simultanément de la frustration et un niveau élevé d'engagement. Afin de vérifier cette hypothèse, un dispositif BCI a été mis en place pour enregistrer les variations émotionnelles au cours de tâches de lecture de phrases négatives présentées en arabe (L1) et en français (L2), permettant ainsi une comparaison interlinguistique. Les résultats indiquent un niveau élevé d'engagement lors du traitement des phrases négatives en français L2, suggérant une forte mobilisation cognitive des apprenantes. Par ailleurs, le faible niveau de lecture en méditation enregistré par le système correspond à un état d'attention soutenue plutôt qu'à une relaxation, ce qui témoigne d'un effort mental important. Les données révèlent également que les taux de frustration et d'engagement sont particulièrement élevés au début des tâches de lecture, puis diminuent progressivement avec l'exposition répétée aux stimuli. Ces résultats mettent en évidence l'interaction étroite entre traitement linguistique et dynamique émotionnelle dans l'apprentissage d'une langue seconde.

Mots-clés: BCI; EEG; négation; émotions; FLE.

¹ Corresponding author: Géhane ESSAWY/Jessawy@ksu.edu.sa

Journal of Languages & Translation © 2026. Published by University of Chlef, Algeria.

This is an open access article under the CC BY license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Abstract

This experimental study aims to investigate the affective state of Arabic-speaking learners while reading negative sentences in French as a second language (L2) using a Brain-Computer Interface (BCI) system based on electroencephalography (EEG). The study focuses on learners' emotional responses during the processing of two types of negation in French: metalinguistic negation (MN) and descriptive negation (DN). Five emotional dimensions were examined: frustration, engagement, meditation, and both short-term and long-term excitement. We hypothesize that the type of negation influences learners' emotional states. Both metalinguistic and descriptive negations may elicit frustration and engagement, as they require access to meta-representational elements in the L2. Processing negation in a second language involves increased cognitive effort, including the activation of linguistic, contextual, and inferential representations, which may directly affect emotional responses. A BCI system was implemented to measure emotional variations during reading tasks involving negative sentences presented in both Arabic (L1) and French (L2), allowing for cross-linguistic comparison. The findings indicate a high level of engagement during the processing of negative sentences, suggesting strong cognitive involvement. In contrast, meditation-related indices were low, reflecting a state of sustained attention rather than relaxation while reading negative sentences in French L2. The results further reveal that both frustration and engagement levels were particularly high at the beginning of the reading tasks but gradually decreased over time. This pattern may reflect a process of cognitive adaptation, as learners become more familiar with the task demands and linguistic structures. Overall, the study highlights the close interaction between linguistic processing and affective dynamics in second language acquisition, emphasizing the importance of integrating emotional dimensions into psycholinguistic research on L2 learning.

Keywords: BCI; EEG; negation; emotions; second language.

Introduction

Dans le domaine des sciences affectives, on adopte aujourd'hui une définition dite *multi-composentielle* de l'émotion. Selon cette approche (Sander, 2016), une émotion correspond à une modification rapide et temporaire de l'état de l'individu, qui se déroule en deux étapes :(1) un déclenchement initial provoqué par la perception de la pertinence d'un événement (réel ou imaginaire), entraînant ; (2) une réponse impliquant plusieurs composantes, telles que l'activité du système nerveux, les tendances à l'action, les expressions motrices et l'expérience subjective consciente.

Pendant longtemps, les émotions et les processus cognitifs étaient considérés comme distincts, tant dans leurs fonctions que dans leurs localisations cérébrales. Ainsi, certaines zones auraient été vues comme le siège des émotions, tandis que les régions corticales auraient été associées aux fonctions cognitives (Sander, 2013).

Les modèles contemporains proposent une vision intégrée : émotions et cognition interagissent étroitement au sein de réseaux neuronaux du cerveau. Les émotions jouent un rôle essentiel dans plusieurs processus cognitifs, tels que l'attention, la mémoire de travail et l'encodage. Ces processus sont indispensables au processus d'apprentissage.

Ainsi, les émotions accompagnent les étudiants en classe et peuvent, selon leur nature et leur intensité, favoriser ou entraver les apprentissages (Sander, 2013). De ce fait, le rôle des émotions dans l'éducation suscite un intérêt croissant dans la recherche (Cuisinier, Tornare, & Pons, 2015 ; Pekrun & Linnenbrink-Garcia, 2014).

Les études récentes sur les émotions dans l'apprentissage des langues montrent un intérêt croissant pour ce concept transdisciplinaire (Puozzo, 2013). L'apprentissage n'est plus seulement analysé sous un angle cognitif, mais dans un cadre plus large où l'émotion joue un rôle significatif, nécessitant des recherches empiriques dans le contexte de la classe de langue. L'interdépendance entre émotion et

cognition a été prouvée par Lazarus (1999), et de nombreuses études montrent que l'émotion précède la pensée. Analyser cette corrélation nécessite ainsi de mener des recherches qui considèrent l'émotion comme une variable dépendante de la cognition (Parrott & Hertel, 1999).

Notre étude s'intéresse donc aux émotions lors de l'apprentissage du français L2 ; nous nous demandons quelles sont les émotions que pourraient éprouver les apprenants lors de l'apprentissage du FLE ? Quelles sont les situations d'apprentissage qui stimulent le plus les émotions ? Quels types d'émotions sont les plus fréquents ? Qu'en est-il pour des apprenants arabophones dont la langue maternelle est largement différente de la langue d'apprentissage ? Ces questions nous ont emmenée à vouloir tester et analyser les émotions éprouvées lors de l'apprentissage en classe de FLE chez des étudiantes saoudiennes arabophones de niveau A1 lors du traitement de la négation en français puisque de nombreux défis ont été constatés à ce niveau.

Cinq émotions seront testées lors de cette étude : la frustration, l'engagement, la méditation et l'excitation (à long terme et à court terme). Nous essaierons de déterminer si les apprenantes de français L2 montrent des émotions différentes lors de la lecture de deux types de négation : descriptive et métalinguistique. Nous supposons que la frustration et l'engagement semblent être des émotions dominantes qui impliquent de la méditation et de la concentration dans le traitement de la négation métalinguistique plus que la négation descriptive ; des phrases négatives dans la langue maternelle doivent témoigner moins d'engagement et de frustration soit pour la ND ou la NM. L'étude explore aussi la différence d'émotions lorsque ces apprenantes lisent les mêmes phrases dans leur langue maternelle, l'arabe.

Un test contenant des phrases négatives (négation descriptive et négation métalinguistique) fera l'objet de l'expérience ; nous tenterons d'analyser la relation qui traite l'émotion comme une variable influencée par la cognition dans le traitement de la négation en utilisant une interface cerveau machine capable de capter, de tester et de mesurer les émotions des participantes par un système BCI. Mais qu'est-ce qu'un BCI ?

Une interface cerveau-machine (Brain Computer Interface BCI) peut être décrite comme une collaboration entre le cerveau et un dispositif externe, permettant la transmission directe des signaux électriques des neurones vers des systèmes comme les ordinateurs, sans faire appel aux nerfs périphériques ou aux muscles. L'entrée de ce système est constituée de signaux électroencéphalographiques (EEG) enregistrés sur le cuir chevelu, au niveau des zones sensori-motrices du cortex, qui sont liées à l'activité volontaire de la personne. La sortie est une décision qui se traduit par une action de contrôle permettant au dispositif prothétique d'effectuer un mouvement spécifique. Le cœur du BCI est un algorithme de classification, caractérisé par le choix des descripteurs de signal à traiter et les règles d'attribution des signaux.

Les applications pratiques de la recherche dans ce domaine sont actuellement assez limitées. En effet, contrôler une prothèse nécessite non seulement de distinguer différents mouvements, mais aussi de différencier diverses modalités d'un même mouvement. Les interfaces cerveau-machine (BCI) peuvent également collecter des signaux électroencéphalographiques (EEG) pour identifier certains aspects de l'état cognitif ou émotionnel d'une personne. En mode actif, elles peuvent permettre à l'utilisateur de générer des commandes pour des applications externes à l'aide de ses pensées. En mode passif, les signaux EEG sont enregistrés sans aucun contrôle volontaire. C'est le cas dans les recherches visant à identifier les émotions.

Par ailleurs, le traitement de la négation a fait l'objet de nombreuses recherches au cours de la dernière décennie. Un long débat a eu lieu autour du traitement de la négation et de la question de savoir si cela augmentait l'accessibilité des informations qui correspondent à l'état affirmatif «le garçon nage» ou à l'état négatif «le garçon ne nage pas» (Kaup & Zwaan, 2003; Kaup, Lüdtke & Zwaan, 2006a; Kaup,

Yaxley, Madden, Zwaan et Lüdtke, 2006b). Dans la section suivante nous passerons rapidement en revue les études qui nous paraissent pertinentes au sujet de la négation et du traitement des émotions en apprentissage du FLE

I- Revue de littérature

Le débat sur la négation a introduit deux modèles offrant des modes différents sur la manière dont la négation est traitée (Mayo, Schul et Burnstein, 2004; Kaup et al., 2006a). Le premier s'appelle le modèle «schema-plus-tag» (Clark et Chase, 1972; Fiedler, Walther, Armbruster, Fay et Naumann, 1996). Ce modèle affirme qu'une personne traite la négation en traitant le message principal, c'est-à-dire qu'elle examine la partie affirmative de la phrase après l'avoir complétée avec la copule de négation. Ce modèle a deux implications : tout d'abord, les lecteurs traitent la phrase et lui attachent une étiquette de négation, mais établissent ensuite une relation entre les deux parties. La deuxième implication concerne toutes les associations activées par la phrase. Ces associations sont compatibles avec l'état de négation nié. Ainsi, dans ce modèle, les participants associent une négation à la phrase uniquement si toutes les associations compatibles ont été activées. Enfin, dans ce modèle, le lecteur atteint le sens de la négation mais active simultanément une série d'associations incompatibles avec le sens de la négation (Mayo et al, 2004).

Le deuxième modèle proposé pour expliquer le processus de négation est le modèle de simulation expérientielle, qui suppose que le participant doit fusionner la copule de négation de la phrase. Dans ce modèle, une phrase comme "le garçon ne nage pas" doit être traitée comme "le garçon est assis". Ainsi, dans ce modèle, les personnes activent des associations compatibles avec l'état actuel des choses lorsqu'elles fusionnent la négation avec le concept de base. L'étude de Rubaltelli et Slovic (2008) montre que l'utilisation de l'un ou l'autre modèle peut dépendre du contexte dans lequel la négation est présentée (Rubaltelli et Slovic, 2008).

En résumé, dans diverses études utilisant différentes méthodes, les phrases négatives ont nécessité plus de temps de traitement. Un certain nombre d'explications ont été proposées dans la littérature, à savoir les aspects grammaticaux ou la longueur de la phrase (Kaup, Zwaan, Lüdtke, sous presse). Cependant, l'explication la plus communément admise concerne les aspects pragmatiques de la négation (Lüdtke & Kaup, 2006). Dans ce cas, les interprétations métalinguistique et descriptive de la négation sont toutes deux méta-représentatives (Moeschler, 2015) et impliquent différents types d'émotions parmi les apprenants.

Selon Damasio et Carvalho (2013), les émotions sont le résultat de la réponse innée de l'organisme aux dérivées de l'environnement intérieur et extérieur. Ces réponses modifient le comportement, la prise de décision et les recours cognitifs de l'attention, de l'apprentissage et de la mémoire de l'organisme (Dolan, 2002; LeDoux, 2012; Panksepp, 1998).

Sur le plan cognitif, la compréhension du discours comporte essentiellement trois étapes:

- 1) la construction de la structure de surface, c'est-à-dire une représentation mentale du texte exact lu;
- 2) une représentation textuelle contenant des unités d'idées explicitement énoncées dans le texte, y compris des raisonnements de déductions qui aident à relier des clauses consécutives;
- 3) un modèle de situation du texte, dans lequel l'entrée linguistique actuelle (c'est-à-dire le sens linguistique de la phrase ou du paragraphe en cours de lecture) est intégrée à la fois aux connaissances générales et au contexte du discours précédent (Hsu et al, 2015, P. 98; Graesser, Millis et Zwaan, 1997; Zwaan et Radvansky, 1998).

Dans la compréhension d'un texte, deux types de processus inférentiels sont nécessaires : les processus inférentiels non ambigus qui impliquent un traitement grammatical (morpho-syntaxique) et les processus inférentiels ambigus ou incohérents nécessitant une résolution de la complexité. Jackendoff (2007) soutient que des processus grammaticaux ont lieu pour réunir des mots simples dans une compréhension de phrases ou de paragraphes de texte. Cela signifie que les combinaisons de mots, les

structures syntaxiques, les informations temporelles (relatives au temps), logiques (ex. la négation), intentionnelles (ex. l'humeur subjective) accompagnées de la connaissance du monde appris produisent la compréhension du langage (Hagoort et al, 2004).

Au niveau émotionnel, il existe une littérature de plus en plus importante en neurosciences sur la reconnaissance affective d'un mot (Citron, 2012; Kissler et al., 2006), sur les modèles standard de reconnaissance de mots (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon et Ziegler, 2001; Grainger et Jacobs, 1996), sur la lecture (Just & Carpenter, 1980), la phrase (Friederici, 2002; Taraban et McClelland, 1988) et le traitement de texte (Ferstl et al., 2008; Kintsch, 1988). Le modèle de lecture littéraire de la poétique neurocognitive (Jacobs, 2011; 2014) a tenté de relier tous ces résultats à des données neuropsychologiques présentant l'hypothèse selon laquelle le texte renvoie à des processus cognitifs, émotionnel ou esthétique. Il en résulte des opérations à trois niveaux, à savoir neuronal, cognitivo-affectif et comportemental (Jacobs, 2011, 2014).

Les recherches menées au cours des dix dernières années ont montré un intérêt accru pour la détection de la corrélation entre les émotions et les signaux cérébraux. Des études récentes ont fait progresser nos connaissances sur l'électroencéphalographie (EEG) et sa corrélation avec les états affectifs humains. Les bandes de fréquences du cerveau ont été associées à diverses tâches cognitives et états émotionnels. De nombreux chercheurs pensent que l'activité électrique dans le cerveau produit quatre rythmes distincts (O'Brien, 2008). Les rythmes Alpha et Thêta peuvent être liés à la difficulté des manipulations de tâches (Janisse, 1977; Basar, 1999; Gevins & Smith, 2003). Selon Kruger et al (2014), le suivi et la quantification des changements dans les rythmes des ondes cérébrales Alpha et Thêta peuvent révéler beaucoup de choses sur ce qui se passe lorsque les apprenants traitent des informations dans diverses conditions. O'Brien (2008) affirme que cela peut être réalisé même lorsque l'apprenant n'est pas conscient de ces changements ou ne peut pas les articuler (voir O'Brien, 2008; Gevins & Smith, 2003; Kruger et al 2014).

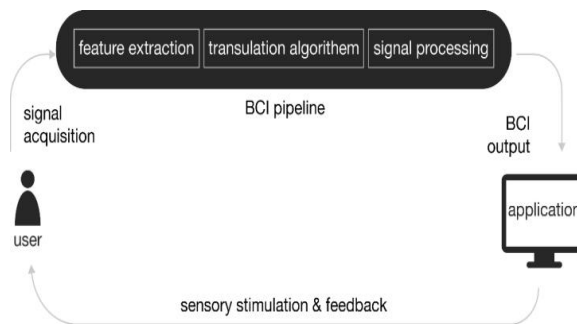
Malgré l'intérêt croissant que suscite l'EEG pour explorer l'état affectif humain dans de nombreux domaines (psychologie et neurosciences, études cliniques et psychiatriques, sciences cognitives, etc.), peu de travaux ont été réalisés dans le domaine de l'apprentissage de la L2 en général et de la lecture de la L2 en particulier. Peu d'études ont intégré cette technologie à la recherche sur la L2 (Federmeier et al. 2010; Kruger, 2014; Watanabe et al, 2016; Part et al 2016, Szarkowska et al 2016). En ce qui concerne la langue arabe, il semble y avoir une lacune dans la littérature car il n'existe pas d'études qui traitent des émotions des apprenants de langue arabe A1/A2 en français lors de la lecture d'une négation métalinguistique et descriptive en L2. Il n'existe pas non plus d'études comparatives sur les émotions des apprenants lors de la lecture de phrases L1 et L2 pour voir s'il existe une différence significative dans les émotions d'engagement, de méditation, d'excitation (à long terme et à court terme) et de frustration.

Dans le présent article nous adoptons l'hypothèse que la lecture d'une phrase négative implique des processus cognitifs particuliers ; ce qui signifie que l'engagement des apprenantes sera plus élevé lors de la lecture d'une phrase qui n'est pas simple en L2.

II. Méthodologie et appareillage

Un BCI (Brain Computer Interface / Interface Cerveau-Machine, ICM) est un système de communication qui traduit les messages produits dans le cerveau en commandes de sortie (pour plus d'informations sur cette technologie, voir Allison et al, 2007; Wolpaw et Wolpaw, 2012; Clerc et al, 2016). Notre système nerveux central (SNC), composé du cerveau et de la moelle épinière, génère une activité cérébrale pouvant être électrique, chimique et métabolique.

Figure 1 Modèle conceptuel d'un système BCI



Un système BCI, illustré par la figure 1, peut ainsi capturer des signaux cérébraux, en extraire des caractéristiques spécifiques, puis les traduire en commandes de sortie. Ainsi, le BCI fournit un nouveau canal de communication permettant aux individus d'interagir avec le monde extérieur.

Actuellement, l'électroencéphalographie (EEG) est la modalité la plus utilisée, car elle est peu coûteuse et disponible dans le commerce (Lebedev et Nicolelis, 2006; Kruger et al, 2014). Selon Antonenko et al (2010: 428), l'EEG est une « technique de neuroimagerie populaire qui mesure l'activité électrique produite par le cerveau via des électrodes placées sur le cuir chevelu. Une telle technique nous fournit diverses mesures en réponse à différents niveaux de stimuli cognitifs (Anderson & Bratman, 2008). Cela fait de l'EEG un choix approprié pour évaluer la charge cognitive en psychologie de l'éducation (Antonenko et al., 2010: 428).

Un système EEG peut détecter 5 types d'émotions : la méditation, la frustration, l'excitation (à long terme et à court terme) et l'engagement. Par conséquent, quand une personne montre par exemple de l'excitation, son esprit produit un certain motif de rythmes des ondes cérébrales que l'EEG peut identifier et afficher à l'aide d'algorithmes sous forme de représentation graphique.

Dans cette étude, nous visons à explorer les émotions des apprenantes arabophones lors de la lecture de phrases négatives en français L2 à l'aide du système BCI. L'objectif est d'examiner les niveaux d'engagement, de méditation, d'excitation (à long terme et à court terme) et de frustration. Nous recherchons des changements dans les émotions des participantes lors de la lecture de deux types de négation, à savoir les NM et les ND.

Nous avons testé 21 étudiantes arabophones inscrites au département de traduction de la Faculté de langues et des Sciences du Langage de l'Université Roi Saoud à Riyad. Toutes sont de langue maternelle arabe dont la moyenne d'âge est entre 20 à 23 ans. Le département de français organise un programme de quatre ans dans lequel les trois premiers niveaux sont consacrés au développement des compétences linguistiques des élèves en français et en arabe. Les étudiantes des niveaux supérieurs sont initiées aux cours de traduction spécialisée, où elles sont tenues de traduire des textes du français vers l'arabe et inversement. Selon le test de niveau ALTICIA INTERNATIONAL, toutes les participantes ont le niveau A1. Les objectifs et les procédures de l'étude ont été expliqués à toutes les participantes et leurs consentements ont été recueillis.

Le corpus de l'étude contenait 30 phrases négatives du type métalinguistique et 30 phrases négatives du type descriptif, en français et en arabe. Nous ajoutons à cela 52 distracteurs comprenant des phrases simples (26), des phrases relatives (12) et des phrases intruses (7). Nous utilisons également un test de compréhension à la fin pour nous assurer que nos participantes ont atteint le niveau de compréhension requis. Les états affectifs des participantes ont été examinés à partir des lectures de l'EEG. Nous obtenons un aperçu des émotions éprouvées tout en interagissant avec nos stimuli. Cinq émotions de

base sont extraites à travers le SDK Emotiv de l'EEG enregistré de 21 participantes : 12 ont participé au test de français et 9 autres au test d'arabe.

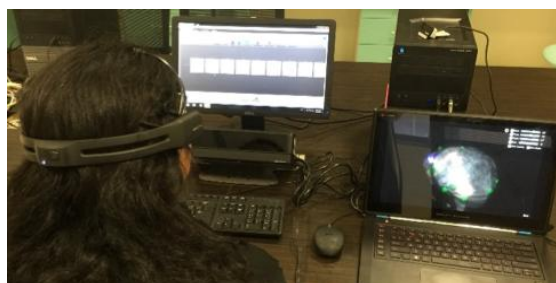
Toutes les sessions de test ont été menées dans un laboratoire de la KSU ; l'environnement du laboratoire comprenait une salle de test calme où les participantes étaient évaluées individuellement. Pendant que les participantes lisaient une phrase complexe, le dispositif EEG enregistrait les mouvements cérébraux. Un mode d'interaction a été donc adopté dans notre expérience : Emotiv EPOC est un casque BCI basé sur l'EEG (illustré à la figure 2). Ce neuro-casque est composé de 14 canaux (plus 2 canaux de référence). Les emplacements des canaux sont : AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8 et AF4 (suivant le système 10-20). Emotiv EPOC détecte l'état émotionnel des utilisateurs par le biais de signaux cérébraux et applique son algorithme sur les signaux EEG pour les traduire en valeurs indiquant cinq états affectifs : frustration, méditation, excitation (à court terme et à long terme) et engagement.

Figure 2 Casque Emotiv EPOC



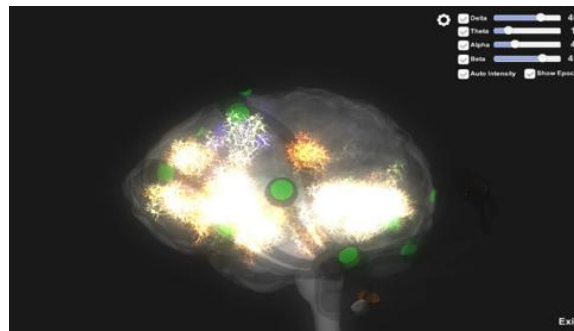
L'expérience est conçue pour que l'état émotionnel de chaque participante soit surveillé lors de la lecture de phrases négatives en français et en arabe. Chaque session a débuté par le montage du casque Emotiv EPOC sur la participante pour l'étalonnage (figure 3). L'étalonnage consiste à monter le casque sur chaque participante et à assurer un bon signal pour chacune des quatorze électrodes (couleur verte).

Figure 3 Montage du casque Emotiv EPOC pour le calibrage



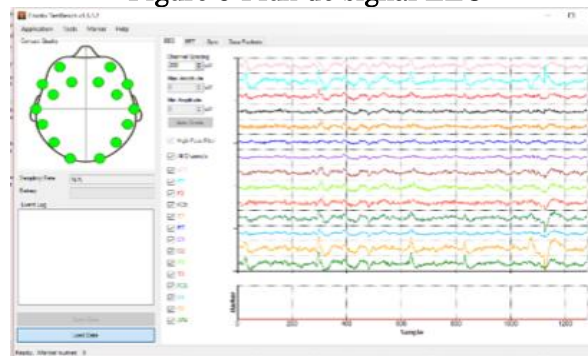
Les canaux sont à base de solution saline, ce qui signifie qu'ils doivent être correctement mouillés avant d'être montés. La figure 4 montre des captures d'écran du flux de signaux EEG. Un ordinateur portable a été utilisé dans l'expérience pour l'enregistrement EEG et le contrôle de la qualité du signal EPOC. Les signaux cérébraux sont collectés à l'aide du casque Emotiv EPOC pendant que l'utilisateur lit. Ces signaux sont capturés en temps réel avec le kit de développement logiciel Emotiv (SDK).

Figure 4 Image des émotions captées par le cerveau



La suite affective du progiciel émotif propose une lecture des émotions suivantes : frustration, méditation, excitation (à long terme et à court terme) et engagement. Après la session, des enregistrements EEG ont été insérés dans le SDK pour extraire des valeurs d'émotion allant de 0 à 1 (fig.5)

Figure 5 Flux de signal EEG



II- Résultats et analyse

En examinant les statistiques (tableau 1), nous trouvons un fort niveau d'engagement lors de la lecture des phrases en français chez toutes les participantes avec ($M = 0,67$ DS = $0,08$). Cependant, les lectures de méditation sont faibles avec ($M = 0,37$ et $SD = 0,04$). Cela indique que les participantes étaient dans un état de méditation lors de la lecture. Ce qui était également le cas dans l'expérience effectuée sur les phrases en arabe pour l'engagement et la méditation, respectivement ($M = 0,69$ et écart-type = $0,10$, $M = 0,38$ et écart-type = $0,12$).

Tableau 1: Statistiques descriptives des cinq émotions EMOTIV lors des tests de français et d'arabe

French	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Engagement	.54	.90	.67	.08	.01
Frustration	.25	.87	.52	.13	.02
Meditation	.30	.51	.37	.04	.00
Excitement short-term	.17	.93	.47	.14	.02
Excitement long-term	.00	.93	.43	.15	.02

Arabic					
Engagement	.55	.90	.69	.10	.01
Frustration	.45	.99	.65	.12	.01
Meditation	.32	.46	38.	.04	.00
Excitement short-term	.17	.82	48.	.14	.02
Excitement long-term	.16	.75	44	.16	.03

Nous avons examiné ensuite la corrélation entre l'émotion et le temps (tableaux 2/3) ; les changements de l'état émotionnel des participantes en lisant les phrases ont été enregistrés. Une corrélation significative a été observée dans l'engagement et la frustration dans le test de français (valeur $p < 0,05$). Les états affectifs de frustration et d'engagement des participantes sont élevés au moment où elles commencent la lecture, mais déclinent avec le temps. En ce qui concerne le test d'arabe, aucune corrélation significative n'a été observée.

Tableau 2: Test de corrélation de Spearman de l'émotion et du temps - test de français

Emotion	Correlation		
Engagement	r-value	-.355**	Negative relation
	p-value	.001	Significant correlation (p-value < 0.05)
	N	91	
Frustration	r-value	-.538**	Negative relation
	p-value	.000	Significant correlation (p-value < 0.05)
	N	91	
Meditation	r-value	.201	Positive relation
	p-value	.055	Not significant correlation (p-value > 0.05)
	N	91	
Excitement short-term	r-value	-.146	Week negative correlation
	p-value	.166	Not significant correlation (p-value > 0.05)

	N	91	
Excitement long-term	r-value	.140	Week positive correlation
	p-value	.186	Not significant correlation (p-value >0.05)
	N	91	

Tableau 3: Test de corrélation de Spearman de l'émotion et du temps - test d'arabe

Emotion	Correlation		
Engagement	r-value	-.430**	Negative relation
	p-value	.010	Significant correlation (p-value <0.05)
	N	35	
Frustration	r-value	-.025	Negative relation
	p-value	.889	Not significant correlation (p-value >0.05)
	N	35	
Meditation	r-value	.280	Positive relation
	P-value	.103	Not significant correlation (p-value >0.05)
	N	35	
Excitement short-term	r-value	.050	No correlation
	p-value	.777	Not significant
	N	35	
Excitement long-term	r-value	.413*	Positive correlation
	p-value	.014	Significant correlation
	N	35	

Ensuite, nous avons comparé les émotions des participantes lors de la lecture des phrases en arabe et en français. Pour cela, nous effectuons un test indépendant sur les lectures affectives de nos deux groupes différents afin de vérifier l'hypothèse proposée. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative dans les émotions : médiation, excitation (à long terme et à court terme) et engagement entre les tests d'arabe et de français, avec des valeurs de p (0,244, 0,399, 0,54 et 0,7) respectivement. Les

valeurs de p pour toutes sont supérieures à 0,05 sans différence significative. Cependant, une différence significative a été observée dans la frustration entre les tests d'arabe et de français. Avec une valeur $p = 0,000 < 0,05$, cela indique une différence hautement significative (tableau1).

De plus, nous avons les niveaux de frustration des participantes qui lisent des phrases de NM et de ND en français et en arabe. Les résultats montrent une augmentation des niveaux de frustration lors de la lecture de ND de quatre participantes, tandis que la majorité montre une diminution de la frustration. Cependant, le niveau moyen de frustration de chaque participante est presque identique, avec un maximum de 0,6 de différence entre les NM et des ND.

Lors du test d'arabe, quatre participantes présentaient une frustration accrue en lisant les phrases de ND et quatre participantes affichaient une diminution (tableaux 4/5). En général, nous ne constatons aucune différence significative entre les niveaux de frustration, entre les deux types de négation et le degré moyen de frustration dans le test de française (0,41 à 0,66) et dans le test de langue arabe (0,47 à 0,72).

Tableau 4 :Frustration (French test)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
A1	0.66	0.53	0.92	0.69	0.89	0.62	0.67	0.68	0.75	0.63
A2	0.6	0.49	0.54	0.41	0.68	0.52	0.58	0.44	0.45	0.56
A3	0.54	0.48	0.64	0.28	0.52	0.54	0.58	0.33	0.69	0.68
A4	0.62	0.67	0.48	0.27	0.51	0.35	0.67	0.47	0.42	0.71
A5	0.57	0.37	0.55	0.64	0.46	0.21	0.59	0.54	0.66	0.83
A6	0.57	0.61	0.81	0.37	0.4	0.28	0.71	0.51	0.44	0.63
A7	0.56	0.52	0.52	0.33	0.32	0.67	0.75	0.5	0.54	0.5
A8	0.76	0.51	0.43	0.36	0.6	0.64	0.7	0.3	0.52	0.78
A9	0.52	0.48	0.41	0.41	0.35	0.44	0.7	0.5	0.46	0.61
A10	0.57	0.5	0.41	0.38	0.31	0.48	0.62	0.42	0.63	0.88
A11	0.57	0.42	0.52	0.36	0.31	0.44	0.64	0.21	0.26	0.26
A12	0.9	0.87	0.48	0.4	0.39	0.12	0.6	0.41	0.34	0.73
A13	0.91	0.43	0.29	0.39	0.37	0.45	0.56	0.16	0.38	0.39
A14	0.56	0.4	0.37	0.43	0.88	0.47	0.51	0.41	0.22	0.7
A15	0.66	0.44	0.36	0.78	N/A	N/A	0.99	N/A	0.13	0.56
AVG	0.64	0.51	0.52	0.43	0.50	0.45	0.66	0.42	0.46	0.63

B1	0.6	0.55	0.67	0.56	0.73	0.63	0.6	0.48	0.68	0.63
B2	0.46	0.52	0.47	0.29	0.63	0.49	0.53	0.37	0.81	0.58
B3	0.6	0.61	0.67	0.22	0.45	0.52	0.63	0.48	0.52	0.57
B4	0.86	0.47	0.32	0.35	0.4	0.24	0.72	0.54	0.46	0.79
B5	0.55	0.77	0.36	0.79	0.38	0.52	0.62	0.54	0.41	0.83
B6	0.71	0.54	0.32	0.5	0.43	0.36	0.68	0.31	0.57	0.64
B7	0.52	0.55	0.47	0.36	0.28	0.53	0.72	0.52	0.59	0.3
B8	0.52	0.39	0.44	0.34	0.29	0.59	0.74	0.47	0.69	0.92
B9	0.52	0.45	0.31	0.36	0.66	0.5	0.57	0.46	0.73	0.58
B10	0.86	0.51	0.39	0.41	0.39	0.46	0.59	0.63	0.36	0.45
B11	0.61	0.42	0.6	0.36	0.26	0.48	0.56	0.48	0.34	0.72
B12	0.85	0.5	0.42	0.45	0.38	0.68	0.69	0.35	0.39	0.5
B13	0.66	0.37	0.28	0.37	0.57	0.42	0.66	0.35	0.57	0.63
B14	0.51	0.41	0.16	0.4	1	0.25	0.65	N/A	0.13	0.66
B15	0.54	0.4	0.21	0.42	N/A	0.93	N/A	N/A	0.37	0.76
AVG	0.62	0.50	0.41	0.41	0.49	0.51	0.64	0.46	0.51	0.64

Tableau 5: Frustration – Arabic Test

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
A1	0.81	0.59	0.63	0.83	0.77	0.53	0.45	0.76	0.48
A2	0.53	0.75	0.49	0.69	0.61	0.48	0.68	0.77	0.79
A3	0.51	0.54	0.42	0.66	0.9	0.45	0.44	0.75	0.81
A4	0.68	0.7	0.43	0.6	0.89	0.66	0.58	0.6	0.77
A5	0.91	N/A	N/A	0.45	1	0.68	0.51	0.65	0.65
A6	N/A	N/A	N/A	N/A	1	0.47	0.68	0.77	0.58
A7	0.45	0.6	N/A	0.72	1	0.56	0.57	0.68	0.52
A8	0.61	0.69	0.61	0.59	0.98	0.44	0.99	0.78	0.59
A9	0.95	N/A	N/A	0.95	0.88	0.51	0.59	0.97	0.45

A10	0.44	0.63	0.47	0.78	0.87	0.42	0.5	0.82	0.52
A11	0.33	0.65	N/A	0.52	0.87	0.41	0.53	0.84	0.65
A12	0.6	0.75	0.39	0.89	0.89	0.45	0.59	0.54	0.7
A13	0.7	0.51	0.39	0.78	0.69	0.4	0.51	0.45	0.78
A14	0.55	0.73	0.55	0.82	0.58	0.34	0.71	0.68	1
A15	0.79	0.67	0.6	0.76	N/A	0.31	0.51	0.62	1
AVG	0.63	0.65	0.50	0.72	0.85	0.47	0.59	0.71	0.69
B1	0.68	0.53	0.45	0.77	1	0.52	0.62	0.72	0.57
B2	0.67	0.77	0.51	0.7	0.58	0.43	0.58	0.78	0.71
B3	0.69	0.72	0.61	0.8	0.88	0.35	0.42	0.39	0.82
B4	0.46	0.5	0.78	0.87	0.75	0.58	0.59	0.7	0.95
B5	0.65	0.74	0.43	0.69	0.89	0.66	0.43	0.68	0.8
B6	0.78	0.6	0.33	0.66	0.89	0.64	0.69	0.53	0.7
B7	0.77	0.57	0.58	0.7	0.87	0.33	0.64	0.54	1
B8	0.59	0.66	0.23	0.53	0.7	N/A	0.99	0.77	1
B9	0.67	0.75	0.55	0.64	1	0.59	0.84	0.7	0.59
B10	0.48	0.61	0.46	0.7	0.87	0.34	0.55	0.86	0.62
B11	0.75	0.58	0.37	0.6	0.85	N/A	N/A	0.47	N/A
B12	0.34	0.67	0.35	0.85	0.85	0.5	0.6	0.77	0.5
B13	0.37	0.75	0.63	0.59	0.9	0.47	0.75	0.85	0.48
B14	N/A	N/A	0.31	0.75	1	0.45	0.82	0.66	0.65
B15	N/A	N/A	0.44	0.72	N/A	N/A	N/A	0.59	N/A
AVG	0.61	0.65	0.47	0.70	0.86	0.49	0.66	0.67	0.72

De plus, nous avons testé les niveaux d'engagement des participantes lors de la lecture des phrases de NM et de ND en français et en arabe, respectivement. Les résultats ne montrent aucune différence entre les niveaux d'engagement lors de la lecture des phrases de NM et de ND. La même chose peut être dite pour les niveaux d'engagement du test arabe. En général, il n'y a pas de différence significative dans les niveaux d'engagement entre les deux tests, l'intervalle moyen de niveau d'engagement étant le test français (0,59 - 0,76) et le test arabe (0,55 - 0,76).

Les résultats montrent également une corrélation négative significative dans l'engagement et la frustration en français (valeur $p < 0,05$). Les états affectifs de frustration et d'engagement des participantes sont élevés au moment où elles commencent à lire, mais diminuent avec le temps. En ce qui concerne l'arabe, aucune corrélation significative n'a été trouvée. La frustration et l'engagement ne sont donc pas très significatifs lors de la lecture de phrases négatives dans la langue maternelle. Comme prévu, la charge cognitive est plus élevée en L2 qu'en L1. Bien que nous n'ayons pas essayé de généraliser les résultats au-delà des participantes à cette étude, les lecteurs sont invités à évaluer par eux-mêmes la pertinence, dans leur propre contexte, des résultats décrits ici.

En résumé, les apprenantes de la négation en français L2 ne manifestent pas les mêmes émotions lorsqu'elles traitent les deux types de négation à savoir : métalinguistique et descriptive dans les deux langues étudiées : le français et l'arabe. Les deux types de négation sont méta-représentatifs, mais rien ne montre qu'il y ait plus de frustration ou d'engagement dans le traitement de L2 que de L1. Mais nous avons remarqué une forte méditation de lecture du français plus que la lecture des phrases négatives en arabe. L2 prennent plus de temps pour interpréter les NM et les ND en L2 plus qu'en L1.

Un tel résultat confirme que les négations NM et ND sont toutes deux méta-représentatives (Moeschler, 2015). Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative non plus dans les émotions entre NM et ND en arabe L1. De plus, nous avons constaté une différence significative de frustration lors de la lecture de NM et de ND entre le français et l'arabe. En fait, les émotions sont plus élevées en L2 qu'en L1 (résultats de démonstration). En examinant les statistiques descriptives, nous trouvons un taux élevé d'engagement lors de l'expérience des phrases françaises pour toutes les participantes avec ($M = 0,67$ DS = 0,08). Cependant, les lectures de méditation sont faibles avec ($M = 37$ et SD = 0,04). Cela indique que les participantes étaient dans un état de méditation lors de la lecture des phrases négatives. Ce qui était également le cas dans l'expérience des phrases arabes pour l'engagement et la méditation, respectivement ($M = 0,69$ et écart-type = 0,10, $M = 0,38$ et écart-type = 0,12).

La présente étude est donc en accord avec la littérature : la lecture des phrases négatives est plus difficile et nécessite plus de méditation que la lecture des phrases affirmatives ; la lecture des phrases négatives en L2 implique un niveau de méditation supérieur à celui en L1. Nous pensons que les NM produiront plus de frustration que les ND en L2, mais ce n'est pas le cas en raison de faits pragmatiques qui classent à la fois les NM et les ND comme méta-représentatives (Moeschler, 2015).

Conclusion

Cette étude constitue à notre avis une simple contribution à l'expérimentation dans le domaine des neurosciences et leur relation avec l'apprentissage des langues en testant les émotions des apprenants lors de ce processus qui semble être évident – même en apparence - pour les uns et beaucoup plus complexe pour les autres. Comme toute expérimentation, notre étude s'est confrontée à des limites qui ont peut-être entravé une investigation plus profonde et plus généralisée :

- Le nombre de participantes demeure assez limité, soit par manque de disponibilité, vu le temps assez long de préparation au test (mis en place de l'appareillage, installation de chaque participante et mise en place des électrodes sur le cuir chevelu, explication des tâches demandées, questionnaire post-test...), soit par crainte d'y participer surtout face à des appareils peu familiers pour les participantes.
- La difficulté de manipuler les appareils et le recours à des assistantes techniques spécialistes dans le domaine de l'informatique ; ce qui a étendu la durée de l'étude en fonction de leurs disponibilités.

- L'impossibilité de déchiffrer et d'analyser certaines données, puisque des enregistrements vidéo montrant des activités cérébrales intéressantes ont été stockés dans les appareils sans pouvoir les exploiter entièrement faute de formation technique plus avancée, soit de la part de l'auteure ou des spécialistes techniques

Les limites de la recherche n'empêchent pas que les résultats obtenus constituent une base solide pour d'autres investigations beaucoup plus avancées dans ce domaine, surtout si nous pouvons élargir l'étude des émotions au domaine de la traduction puisque des problèmes culturels et sociolinguistiques se posent lors du processus traductif. Des pistes nouvelles en traductologie pourraient donc être frayées afin de tester les émotions des apprentis traducteurs lors des différentes tâches de traduction.

Dans cette étude expérimentale, nous avons essayé de mieux comprendre les mécanismes de traitement affectif lors de la lecture de phrases négatives en français L2 et en arabe L1. Nous avons examiné les émotions des apprenantes arabes lors de la lecture de la négation métalinguistique et descriptive en français L2. Un système EEG (Emotiv) a été utilisé pour détecter 5 types d'émotions chez les participants, à savoir la frustration, la méditation, l'excitation (à court et à long termes) et l'engagement. Nous avons également examiné l'évolution des émotions des participantes lors de la lecture des phrases. Les données ont révélé que les états affectifs de frustration et d'engagement en L2 étaient élevés lorsque les participantes ont commencé à lire, mais ont progressivement diminué au fil du temps. En ce qui concerne les phrases en L1, aucune corrélation entre l'engagement et la frustration n'a été prouvée. Enfin, nous avons comparé les émotions des participantes lors de la lecture de phrases en français et en arabe. Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative dans les émotions d'engagement, l'excitation de la méditation. Cependant, une différence significative a été détectée entre les taux de frustration en arabe et en français, car les apprenantes de L2 ont montré des taux de frustration plus élevés lors de la lecture des phrases en français.

Cette étude devrait contribuer à la littérature sur l'acquisition d'une langue seconde (L2), la linguistique cognitive et l'enseignement et l'apprentissage des langues étrangères.

Références

- Allison B.Z., Wolpaw E.W., Wolpaw J.R. 2007. "Brain computer interface systems: Progress and prospects". *British review of medical devices*. 4 (4): 463–474
- Anderson, C.W., Bratman, J.A. 2008. Translating thoughts into actions by finding patterns in brainwave. In *Proceedings of the Fourteenth Yale Workshop on Adaptive and Learning Systems*, New Haven: CT, 1-6.
- Antonenko, P., Paas, F., Grabner, R. & Van Gog, T. 2010. Using electroencephalography to measure cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22, 425–438.
- Basar, E. 1999. *Brain function and oscillations: integrative brain functions*. Neurophysiology and Cognitive Processes 2. Berlin: Springer.
- Citron, F. M. 2012. Neural correlates of written emotion word processing: A review of recent electrophysiological and hemodynamic neuroimaging studies. *Brain and Language*, 122(3), 211–226.
- Clerc, M., Bougrain, L., & Lotte, F. (Eds.). 2016. *Brain-Computer Interfaces 2: Technology and*

Applications. John Wiley & Sons.

- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. 2001. DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108, 204-256.
- Damasio, A. R., & Carvalho, G. B. 2013. The nature of feelings: Evolutionary and neurobiological origins. *Nature Reviews Neuroscience*, 14(2), 143–152.
- Ferstl, E. C., Neumann, J., Bogler, C., & von Cramon, D. Y. 2008. The extended language network: a meta-analysis of neuroimaging studies on text comprehension. *Hum Brain Mapp*, 29(5), 581-593.
- Gevins, A. & Smith, M. E. 2003. Neurophysiological measures of cognitive workload during human computer interactions. *Theoretical Issues in Ergonomic Science*, 4, 113–131.
- Jackendoff, R. 2007. A Parallel Architecture perspective on language processing. *Brain Res*, 1146, 2-22.
- Jacobs, A. M. 2014. Towards a Neurocognitive Poetics Model of literary reading. In R. M. Willems (Ed.), *Towards a Cognitive Neuroscience of Natural Language Use* (pp. 135-159). Cambridge: Cambridge University Press.
- Janisse, M.P. 1977. *Pupillometry: the psychology of the pupillary response*. Washington: Hemisphere Publishing Corporation.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. 1980. A Theory of Reading - from Eye Fixations to Comprehension. *Psychological Review*, 87(4), 329-354.
- Kaup, B., & Zwaan, R. 2003. Effects of negation and situational presence on the accessibility of text information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29, 439–446.
- Kaup, B., Lüdtke, J., & Zwaan, R. A. 2006a. Processing negated sentences with contradictory predicates: Is a door that is not open mentally closed? *Journal of Pragmatics*, 38, 1033–1050.
- Kaup, B., Yaxley, R. H., Madden, C. J., Zwaan, R. A., & Lüdtke, J. 2006b. Experiential simulations of negated text information. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60, 976–990.
- Kissler, J., Assadollahi, R., & Herbert, C. (2006). Emotional and semantic networks in visual word processing: Insights from ERP studies. *Progress in Brain Research*, 156, 147–183.
- Kruger, J. L., Hefer, E., & Matthew, G. 2014. Attention distribution and cognitive load in a subtitled academic lecture: L1 vs. L2. *Journal of Eye Movement Research*, 7(5).
- Lebedev, M. A., & Nicolelis, M. A. 2006. Brain–machine interfaces: past, present and future. *TRENDS in Neurosciences*, 29(9), 536-546.
- LeDoux, J. E. 2012. Rethinking the emotional brain. *Neuron*, 73(4), 653-676.

- Lee, C. 2016. Metalinguistically negated versus descriptively negated adverbials: ERP and other evidence. In *Negation and polarity: Experimental perspectives* (pp. 229-255). Springer International Publishing.
- Lüdtke, J. & Kaup, B. 2006. Context effects when reading negative and affirmative sentences. In R. Sun (Ed.), *Proceedings of the 28th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 1735-1740). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Mayo, R., Schul, Y., & Burnstein, E. 2004. “I am not guilty” vs “I am innocent”: successful negation may depend on the schema used for its encoding. *Journal of Experimental Social Psychology*, 40, 433e449.
- Moeschler J. 2010, Negation, scope and the descriptive/metalinguistic distinction, *Generative Grammar in Geneva* 6, 29-48.
- Moeschler J. 2015, Qu’y a-t-il de représentationnel dans la négation métalinguistique ? *Nouveaux cahiers de linguistique française* 32, 11-26.
- Nordmeyer, A. E., & Frank, M. C. 2014. A pragmatic account of the processing of negative sentences. *Proceedings of the 36th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 2014. Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Pitts, A. 2011. Exploring a Pragmatic Ambiguity of Negation. *Language*, 87(2), 346-368.
- Prat, C. S., Yamasaki, B. L., Kluender, R. A., & Stocco, A. 2016. Resting-state EEG predicts rate of second language learning in adults. *Brain and language*, 157, 44-50.
- Puozzo Capron, Isabelle & Piccardo, Enrica, Au commencement était l’émotion: Introduction, in *Lidil*, 48 | 2013, pp.5-16.
- Rubaltelli, E., & Slovic, P. 2008. Affective reactions and context-dependent processing of negations. *Judgement and Decision Making*, 3, 607–618.
- Szarkowska, A., Krejtz, K., Dutka, Ł., & Pilipeczuk, O. 2016. Cognitive load in intralingual and interlingual respeaking—a preliminary study. *Poznan Studies in Contemporary Linguistics*, 52(2), 209-233.
- Tian, Y., & Breheny, R. 2016. Dynamic pragmatic view of negation processing. In *Negation and Polarity: Experimental Perspectives* (pp. 21-43). Springer International Publishing.
- Tian, Y., Ferguson, H., & Breheny, R. 2016. Processing negation without context—why and when we represent the positive argument. *Language, Cognition and Neuroscience*, 31(5), 683-698.
- Watanabe, K., Tanaka, H., Takahashi, K., Niimura, Y., Watanabe, K., & Kurihara, Y. 2016. NIRS-Based Language Learning BCI System. *IEEE Sensors Journal*, 16(8), 2726-2734.
- Wolpaw, J.R. and Wolpaw, E.W. 2012. *Brain-Computer Interfaces: Something New Under the Sun*. In: *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice*, editors: Wolpaw, J.R. and Wolpaw, E.W. Oxford University Press.