



Tutoriel : introduction à la psycholinguistique et à la neurolinguistique

Approches localisationnistes et structures syntaxiques complexes

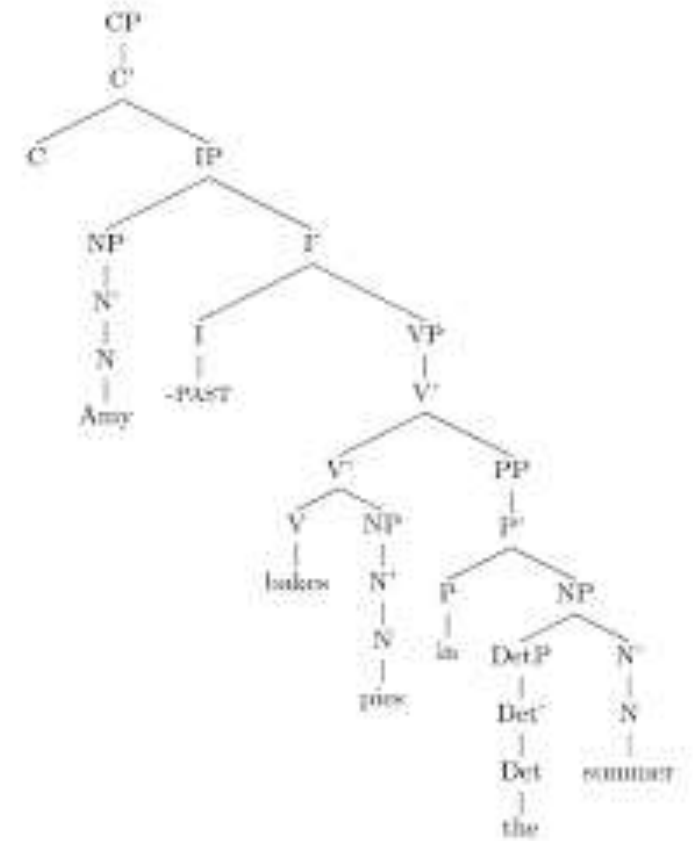
Carlo CECCHETTO & Mauro VIGANÒ

29 janvier 2023

Mouvement syntaxique

La syntaxe dans le cerveau

- La syntaxe est l'ensemble des principes et des processus par lesquels les phrases sont construites.
- Pour construire une phrase, une combinaison d'opérations a lieu avec des niveaux hiérarchiques de complexité.
- Certaines phrases sont plus complexes que d'autres en termes de complexité structurelle :
 - Nombre de niveaux ;
 - Présence d'opérations syntaxiques particulières.



Mouvement syntaxique

<Quel chat>_i caressez-vous <~~quel chat~~>_i ?



- Par exemple, dans cette question, le subissant de l'action <quel chat> est généré dans sa position de base (c'est-à-dire l'argument interne du verbe, ou la position canonique de l'objet direct), puis il est déplacé en première position de la phrase pour former la question.
- Ce faisant, l'élément déplacé laisse une place vide (ou une trace) dans la position d'origine.
- En psycholinguistique, cette opération est généralement décrite comme une dépendance entre un élément appelé **filler** (l'élément déplacé) et un **gap** (l'espace vide dans la position d'origine).

Mouvement syntaxique

- Il existe différents types de mouvements syntaxiques :
 - <Quel chat>_i caressez-vous <e>_i ? - *wh*-questions
 - Je regarde <le chat>_i que l'enfant caresse <e>_i - relatives
 - <Le voleur>_i est poursuivie <e>_i par le policier - passives
 - <LE CHAT>_i , j'ai vu <e>_i , pas le chien ! - focus
 - etc.
- L'étude que nous allons présenter porte sur le **scrambling**, qui est un autre type de mouvement.

Scrambling

- Certaines langues permettent un ordre relativement libre des constituants de la phrase.
- Dans le scrambling, comme pour d'autres types de mouvements, les constituants sont générés dans leurs positions de base, puis déplacés vers la position finale.
- L'interprétation théorique du scrambling est débattue et il existe probablement différents types de scrambling en fonction de la langue considérée (mais cette question n'est pas centrale pour notre propos).
- Nous nous concentrerons sur l'allemand.

Scrambling en allemand

- L'allemand est une langue V2, le participe passé est en position finale.
- Le cas grammatical est réalisé morphologiquement.
- L'ordre canonique des constituants est S-IO-DO-V.

Heute hat der Opa dem Jungen den Lutscher geschenkt.

Aujourd'hui a (auxiliaire) le grand-père (S-nominatif) le garçon (IO-datif)
la sucette (DO-accusatif) donnée (V-participe passé)

Aujourd'hui, le grand-père a donné la sucette au garçon.

Scrambling en allemand

- Des phrases plus complexes peuvent être dérivées en “mélangeant” l'ordre canonique (S-IO-DO-V).

- 1 permutation (IO-S-DO-V) :

Heute hat dem Jungen_i der Opa <e>_i den Lutscher geschenkt

Aujourd'hui, a le garçon_i (IO-dat) le grand-père (S-nom) <e>_i la sucette (DO-acc) donnée (V-passé)

- 2 permutations (IO-DO-S-V) :

Heute hat dem Jungen_i den Lutscher_j der Opa <e>_i <e>_j geschenkt

Aujourd'hui a le garçon_i (IO-dat) la sucette_j (DO-acc) le grand-père (S-nom) <e>_i <e>_j donné (V-passé)

Scrambling et agrammaticalité

- Tous les types de mouvements ne sont pas licites.
- Par exemple, en allemand, le participe passé dans les exemples ci-dessus ne peut pas être déplacé de la position finale.
- Par conséquent, le mouvement illicite dans une phrase comme (S-V-IO-DO)



***Heute hat der Opa geschenkt_i dem Jungen den Lutscher <e>_i**

Aujourd'hui a le grand-père (S-nom) donné_i (V-past part) au garçon (IO-dat) la sucette (DO-acc) <e>_i

induit l'agrammaticalité.

Scrambling et agrammaticalité dans le cerveau

Cerebral Cortex December 2006;16:1709-1717

doi:10.1093/cercor/bhj106

Advance Access publication January 4, 2006

Processing Linguistic Complexity and Grammaticality in the Left Frontal Cortex

Angela D. Friederici¹, Christian J. Fiebach^{1,2},
Matthias Schlesewsky³, Ina D. Bornkessel¹ and
D. Yves von Cramon¹

Objectifs :

- localiser les zones du cerveau impliquées dans le traitement du *scrambling* (et du mouvement syntaxique en général) ;
- vérifier si la complexité et la grammaticalité sont traitées dans des régions différentes.

Techniques :

- comportementale ;
- la neuroimagerie fonctionnelle (IRMf).

L'expérience

Les participants :

- Adultes de langue maternelle allemande: 24 (tâche comportementale) + 13 (étude IRMf).

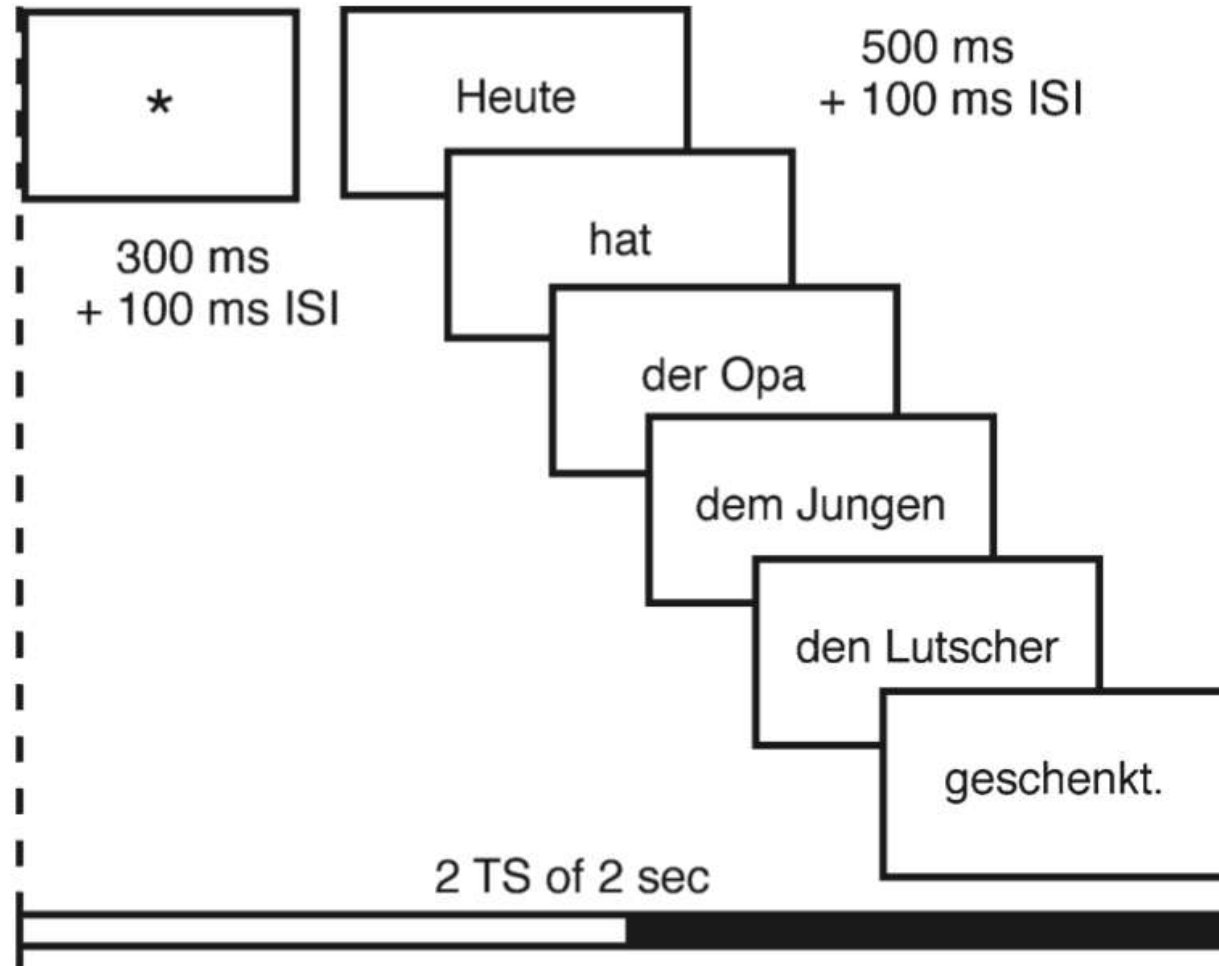
Stimuli :

- 15 phrases dans les 4 conditions critiques (tot. 60 items).
 - Pas de permutation (basse complexité)
 - 1 permutation (moyenne complexité)
 - 2 permutations (haute complexité)
 - Phrase agrammaticale

Présentation des stimuli :

- Présentation visuelle rapide en série → 500ms pour chaque mot/syntaxme.

L'expérience



L'expérience

Tâche comportementale :

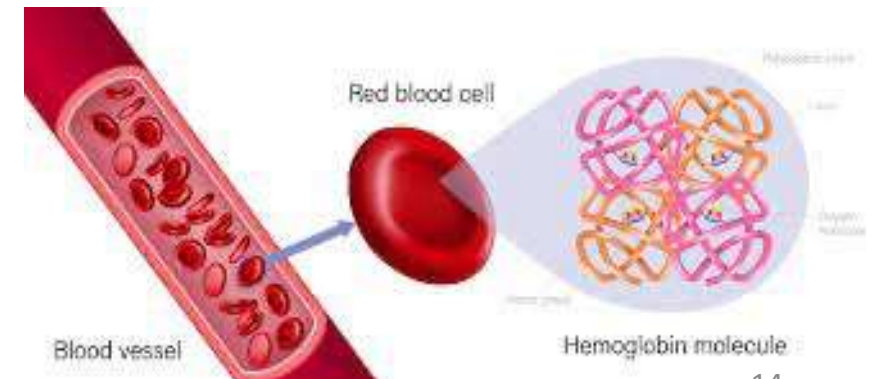
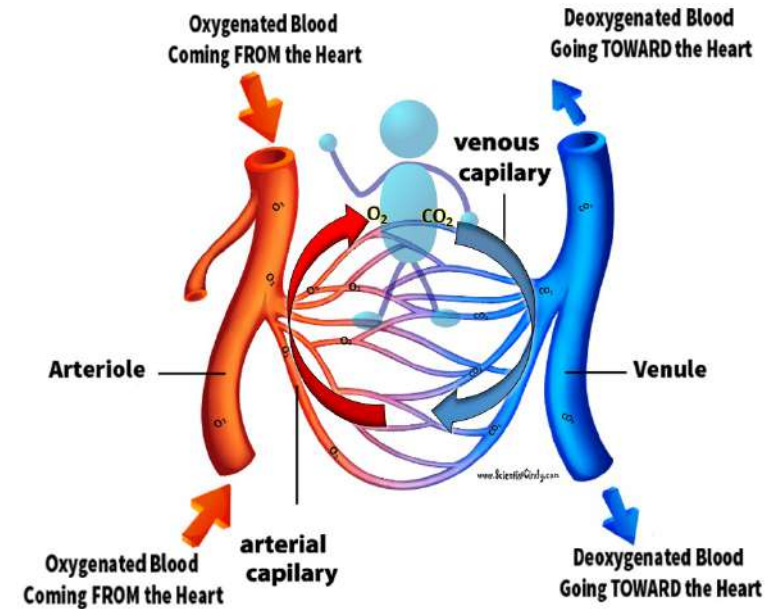
- Après chaque phrase, les participants devaient évaluer le plus rapidement possible l'acceptabilité/grammaticalité perçue du stimulus sur une échelle de Likert en 6 points.
- Données acquises :
 - Score d'acceptabilité (0=totalement acceptable ; 5=totalement inacceptable/agrammaticale) ;
 - Temps de réaction (TR).

Étude IRMf :

- Lire les phrases et répondre à une question attentionnelle de contrôle pour 32 des stimuli.
- Données acquises : réponse hémodynamique (signal BOLD).

Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

- Les neurones ont besoin d'oxygène et de glucose pour leur métabolisme.
- Ceux-ci sont fournis par la circulation sanguine.
- Les molécules d'hémoglobine fixent l'oxygène (hémoglobine oxygénée) et le libèrent dans les neurones (hémoglobine désoxygénée).

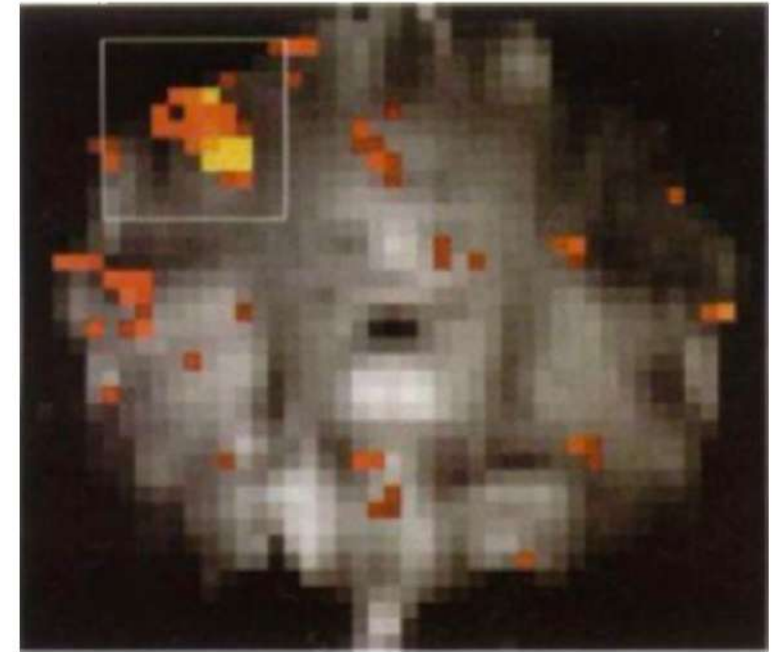


Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

- Dans le cerveau :
 - Lorsqu'une zone particulière du cerveau est davantage activée (en raison de l'exécution d'une fonction), le flux sanguin augmente ;
 - Cela modifie le taux d'hémoglobine oxygénée et désoxygénée (réponse hémodynamique).
- Dans l'IRM :
 - L'hémoglobine oxygénée et l'hémoglobine désoxygénée réagissent différemment au champ magnétique et aux impulsions de radiofréquence ;
 - Au repos, le rapport entre les signaux issus de ces deux réponses différentes est constant ;
 - Mais avec une réponse hémodynamique plus importante, ce rapport change et le scanner peut détecter et localiser cette variation.

Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

- Imagerie de **signal BOLD dépendante** de la teneur en oxygène du sang.
- Paradigme de **soustraction** : réponse hémodynamique au cours d'une tâche spécifique *moins* activation de base (repos ou condition de control).
- Résolution spatiale : 3-4 mm (7T).
- Résolution temporelle : le pic de la réponse hémodynamique dure ~ 3 s et survient $\sim 5-6$ s après l'apparition du stimulus.



Résolution temporelle

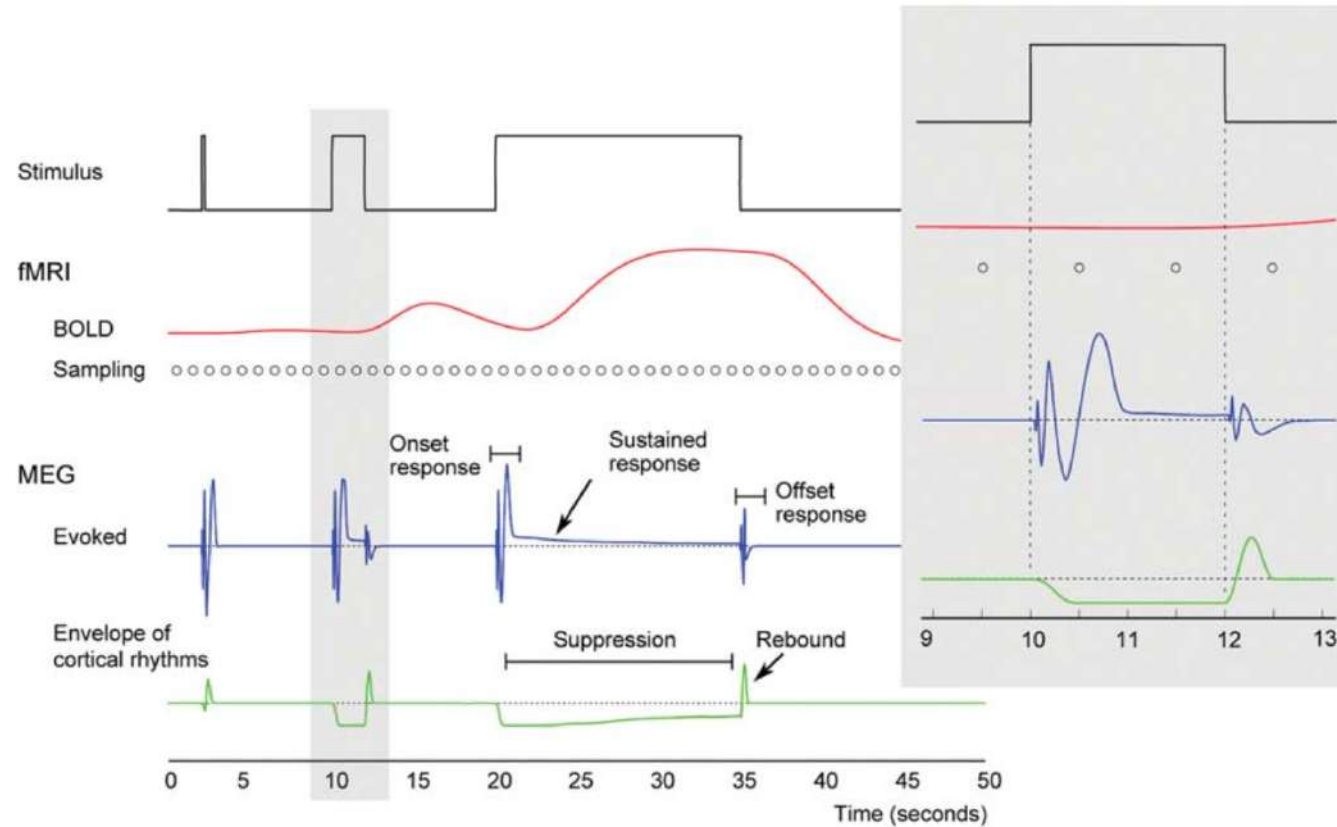


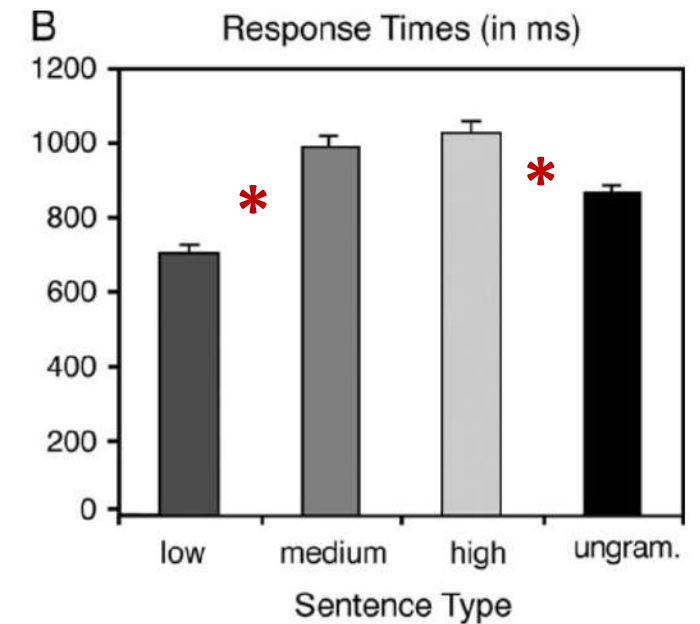
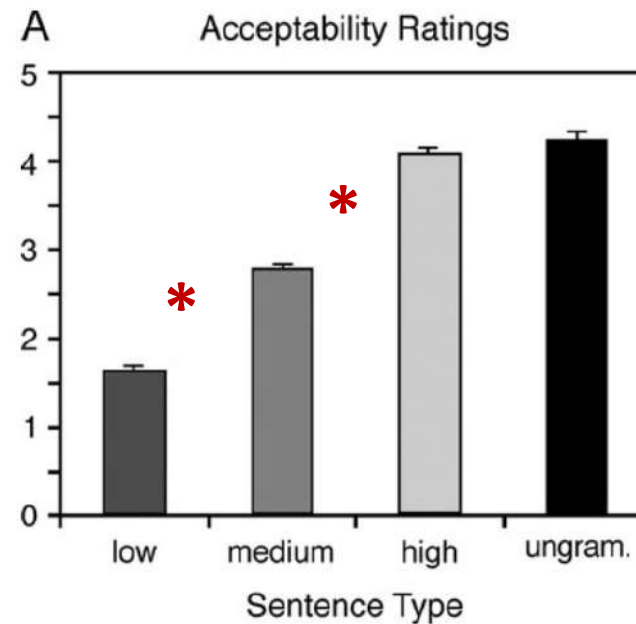
Figure 4-1. Comparison of fMRI BOLD and MEG/EEG signals; schematic responses to stimuli of 200 ms, 2 s and 15 s in duration. A prominent BOLD effect is obtained only with stimulation persisting for several seconds, whereas MEG/EEG evoked responses are primarily elicited by stimulus onsets and offsets, with possibly a relatively weak sustained response. Cortical rhythms seen by MEG/EEG (mainly alpha around 10 Hz and mu with 10- and 20-Hz components) may undergo suppression and rebound modulation, whose time course is more comparable to that of BOLD. Due to the sluggishness of the BOLD signal, it is sufficient to sample it 0.5–2 times per second; here, the dots denote sampling at a rate of 1/second (repetition time TR= 1 s). The MEG/EEG onset responses typically last for less than a second and change orders of magnitude more rapidly than BOLD, thus necessitating sampling rates above 300 Hz.

Retour à l'expérience

Tâche comportementale :

- Évaluer les phrases dans 4 conditions critiques à l'aide du paradigme de présentation visuelle e

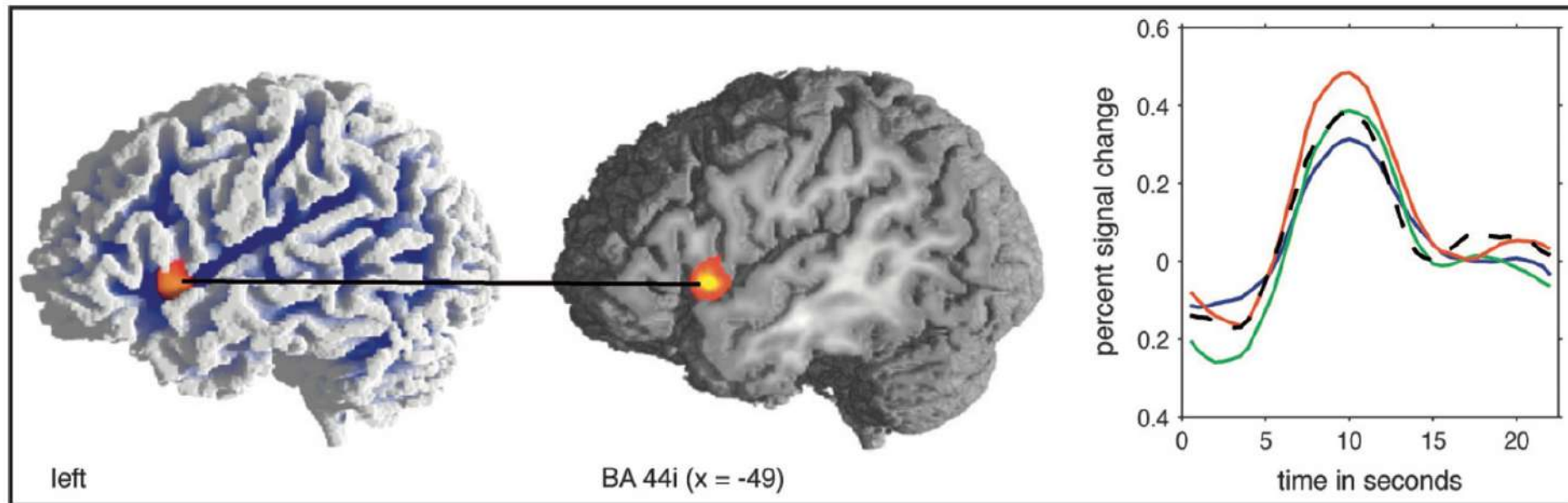
- Pas de permutation (basse complexité)
- 1 permutation (moyenne complexité)
- 2 permutations (haute complexité)
- Phrase agrammaticale



- Les phrases plus complexes sont perçues comme inacceptables.

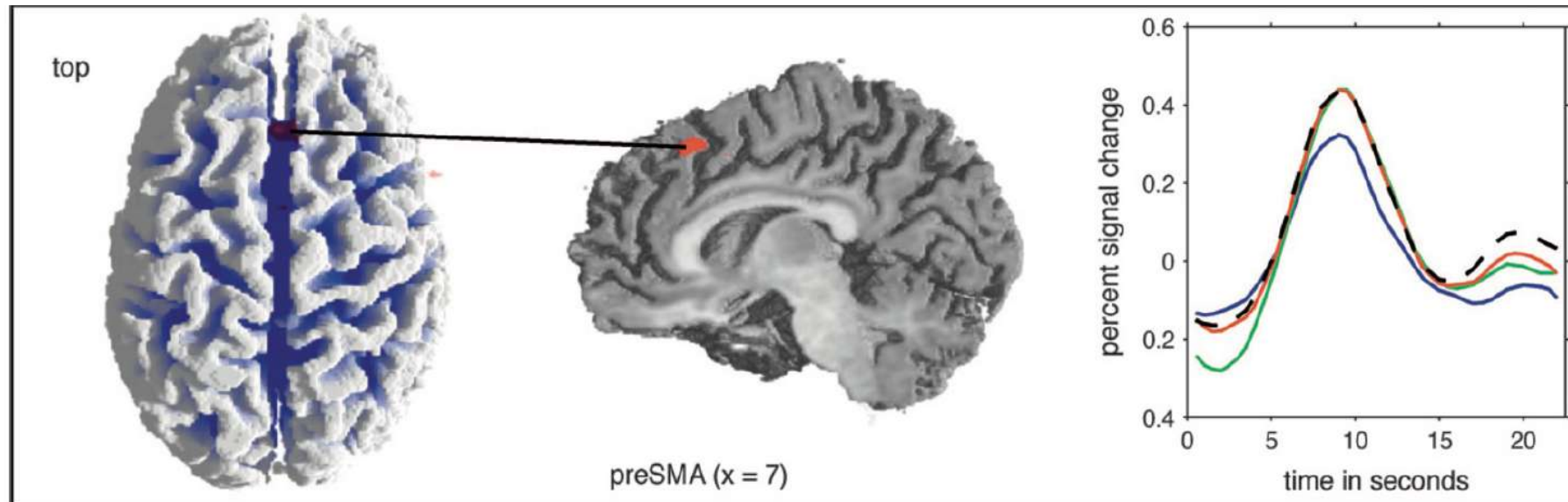
L'expérience IRMf

- L'activation du BA44 inférieur gauche (partie postérieure de l'aire de Broca) augmente progressivement en fonction de la complexité.



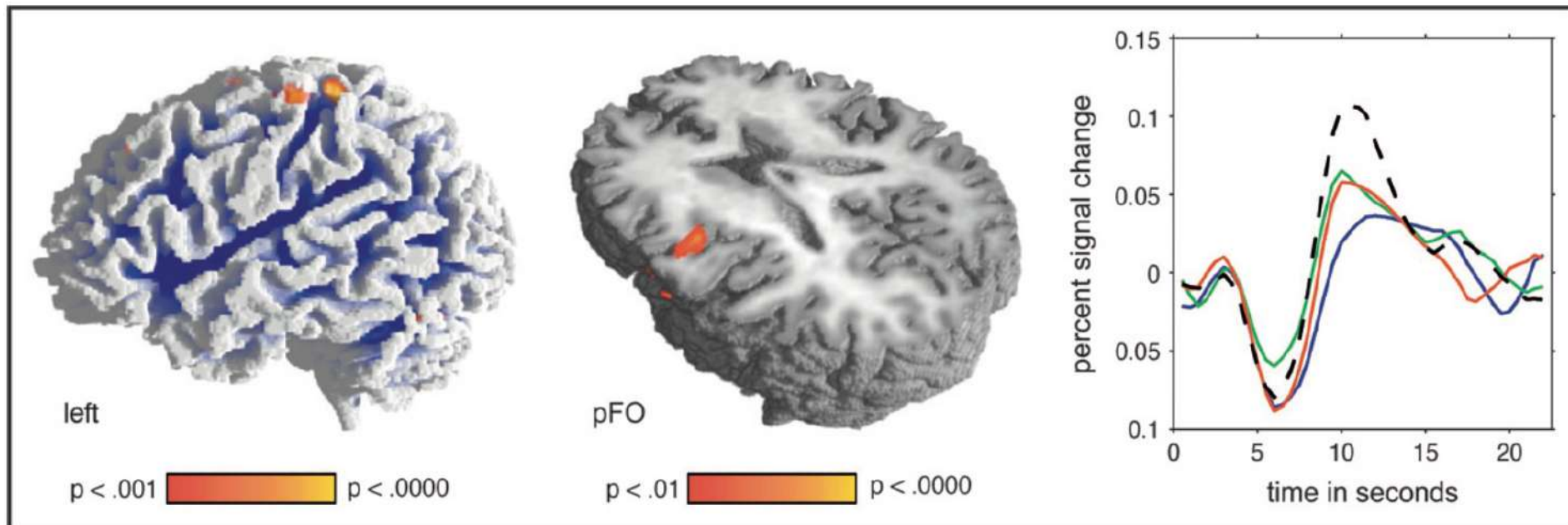
L'expérience IRMf

- Les phrases complexes activent la pre-SMA.



L'expérience IRMf

- OF postérieur gauche (postérieur à la BA44) et la fissure intrapariétal répondent de manière sélective à la détection de l'agrammaticalité.



Résumé des résultats

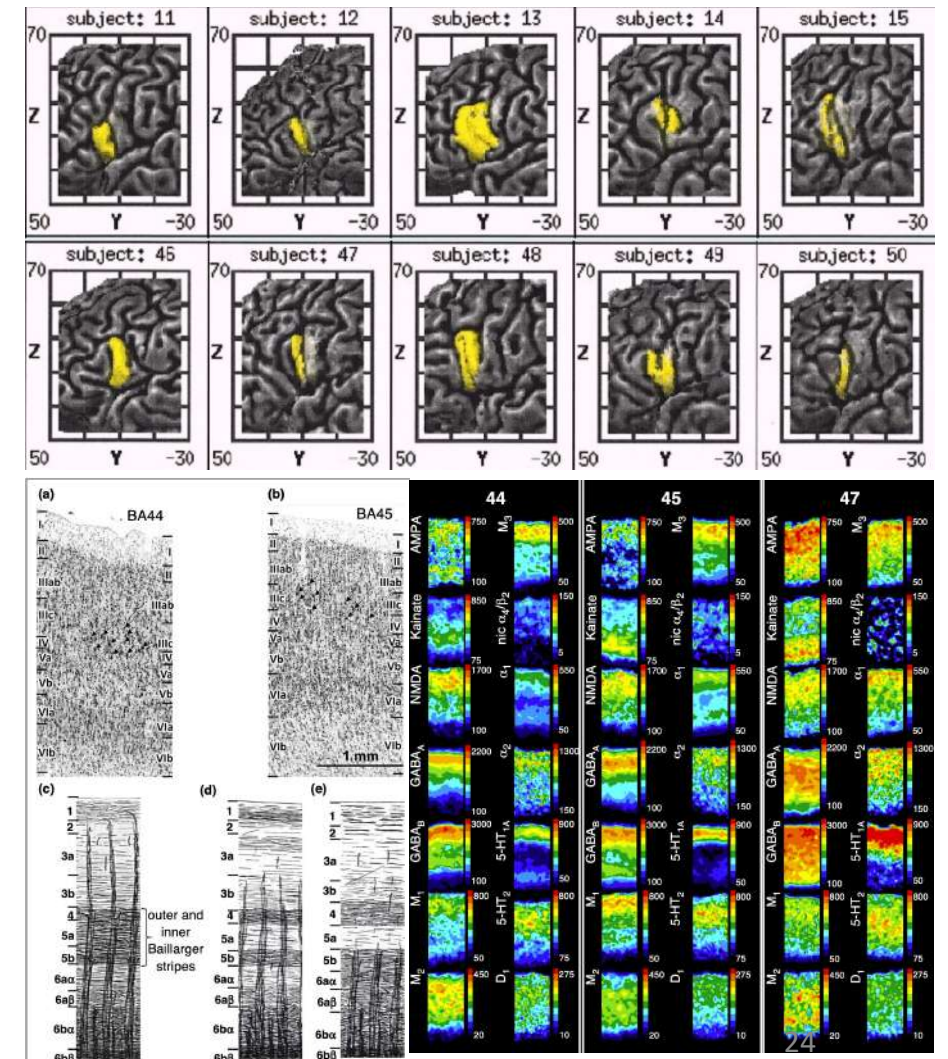
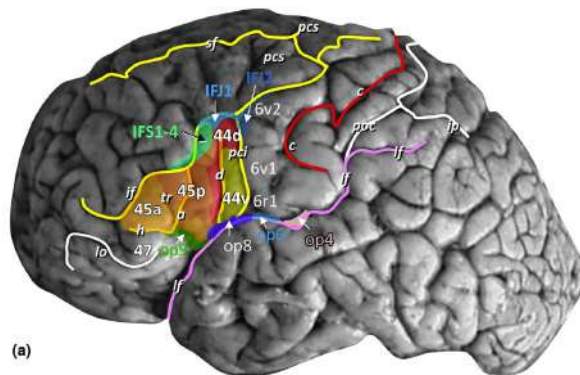
- L'expérience IRMf confirme que les phrases avec 2 permutations et celles agrammaticales sont traitées différemment dans le cerveau, bien qu'elles soient perçues de la même manière comme inacceptables.
- Le mouvement syntaxique et la détection de l'agrammaticalité sont traités par :
 - des zones cérébrales distinctes (iBA44 et pFO respectivement) et
 - des différents réseaux cérébraux (pre-SMA et fissure intrapariétal respectivement).
- Il s'agit donc de deux fonctions distinctes, même d'un point de vue neuronal.

Deux limites possibles de cette approche

1. L'une est plus "philosophique" et implique un changement de paradigme de recherche : il faut attendre la prochaine séance !
2. Il s'agit d'une étude corrélationnelle qui ne permet pas d'établir un lien de causalité.
3. L'autre est plus technique :
 - La localisation des zones cérébrales à l'aide de ces techniques pourrait ne pas être aussi précise : les techniques de neuroimagerie structurelle et fonctionnelle projettent les données acquises sur des atlas standardisés (normalisation).
 - Toutefois, cette procédure ne tient pas compte des différences interindividuelles.

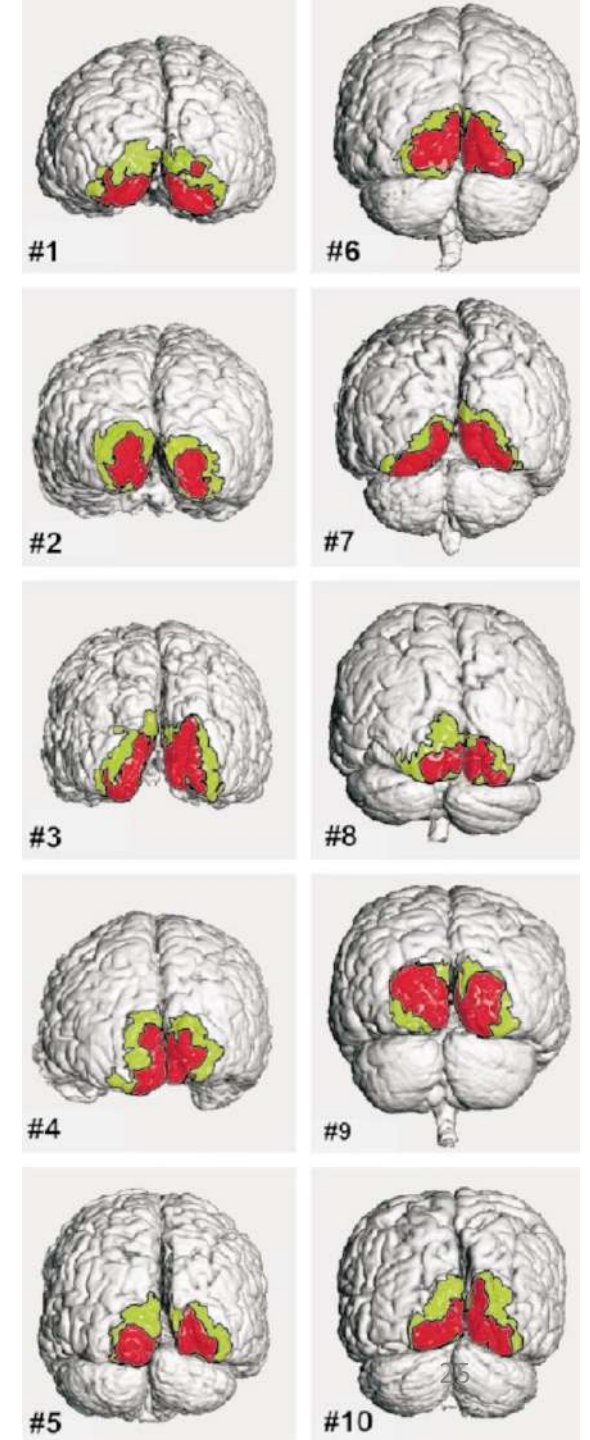
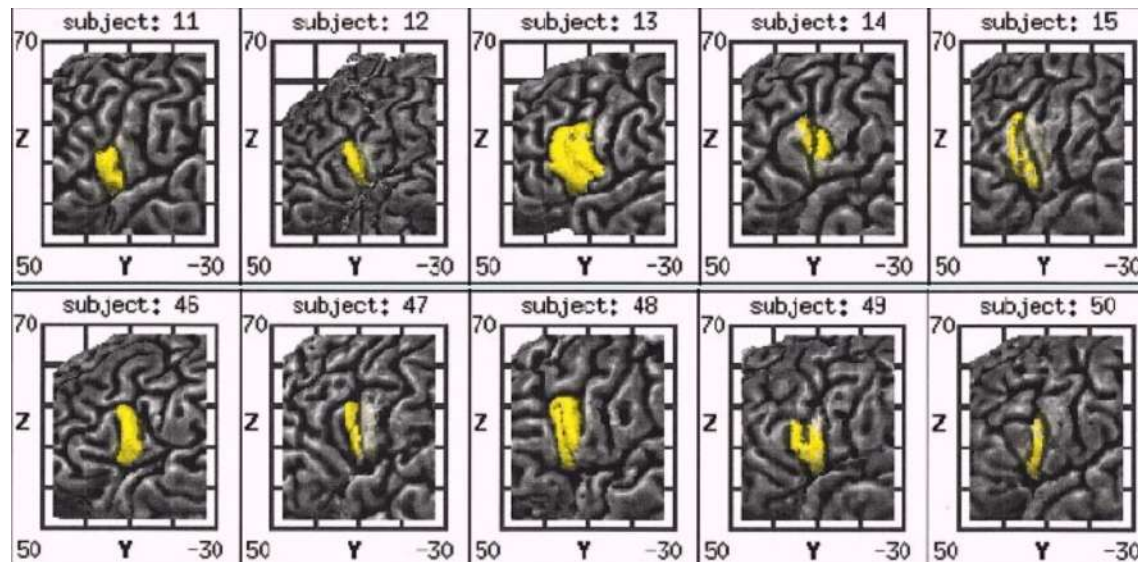
L'aire de Broca à la loupe

- Différences interindividuelles dans la localisation et l'extension de l'aire de Broca (Tomaiuolo et al., 2001).
- Les études de cytoarchitecture et de neurochimie montrent une parcellisation de l'aire de Broca en sous-régions structurellement et éventuellement fonctionnellement distinctes (Amunts et al. 2010 ; Zilles et Amunts, 2018).



Variabilité et évolution

- Les différences interindividuelles sont beaucoup plus importantes dans la région de Broca que dans le cortex occipital visuel.
- La fonction linguistique est évolutivement plus récente que la fonction visuelle : cela peut expliquer pourquoi sa représentation corticale est moins bien définie.



Feuille de route de cet exposé

Deux techniques de stimulation cérébrale : TMS et tDCS

Mémoire verbale à court terme et syntaxe

Déficits de la mémoire à court terme

Manipulation de la syntaxe dans le cerveau



- Une expérience de TMS
- Deux expériences tDCS
- Une étude en cours sur des possibles applications cliniques

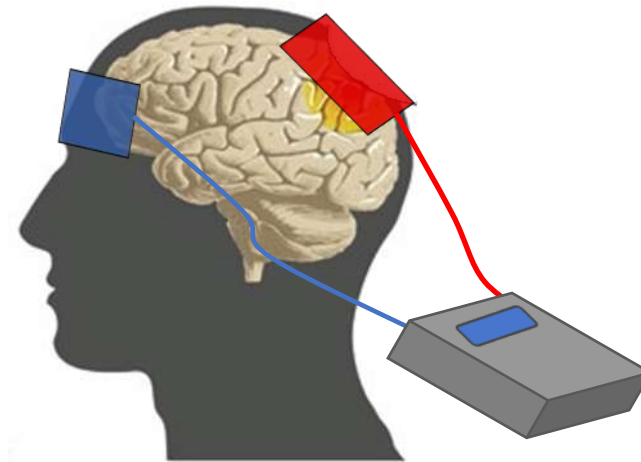
Manipuler la syntaxe dans le cerveau

PARTIE I : DEUX TECHNIQUES DE STIMULATION CÉRÉBRALE

Les deux techniques

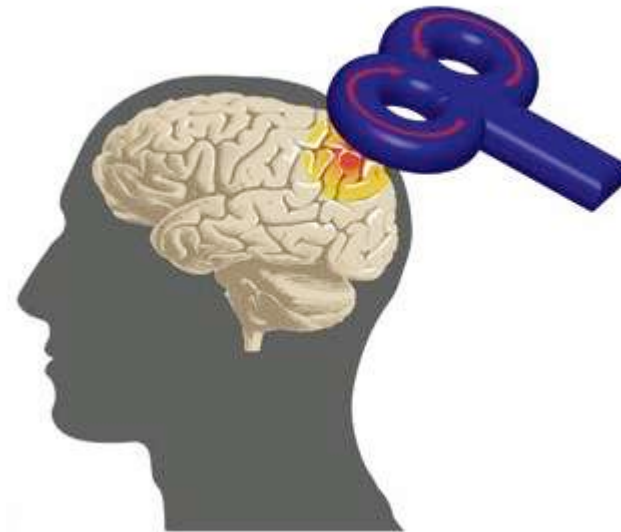
Deux techniques non invasives de stimulation cérébrale :

1. Stimulation magnétique transcrânienne (TMS)
2. Stimulation transcrânienne à courant continu (tDCS)



Stimulation magnétique transcrânienne (TMS)

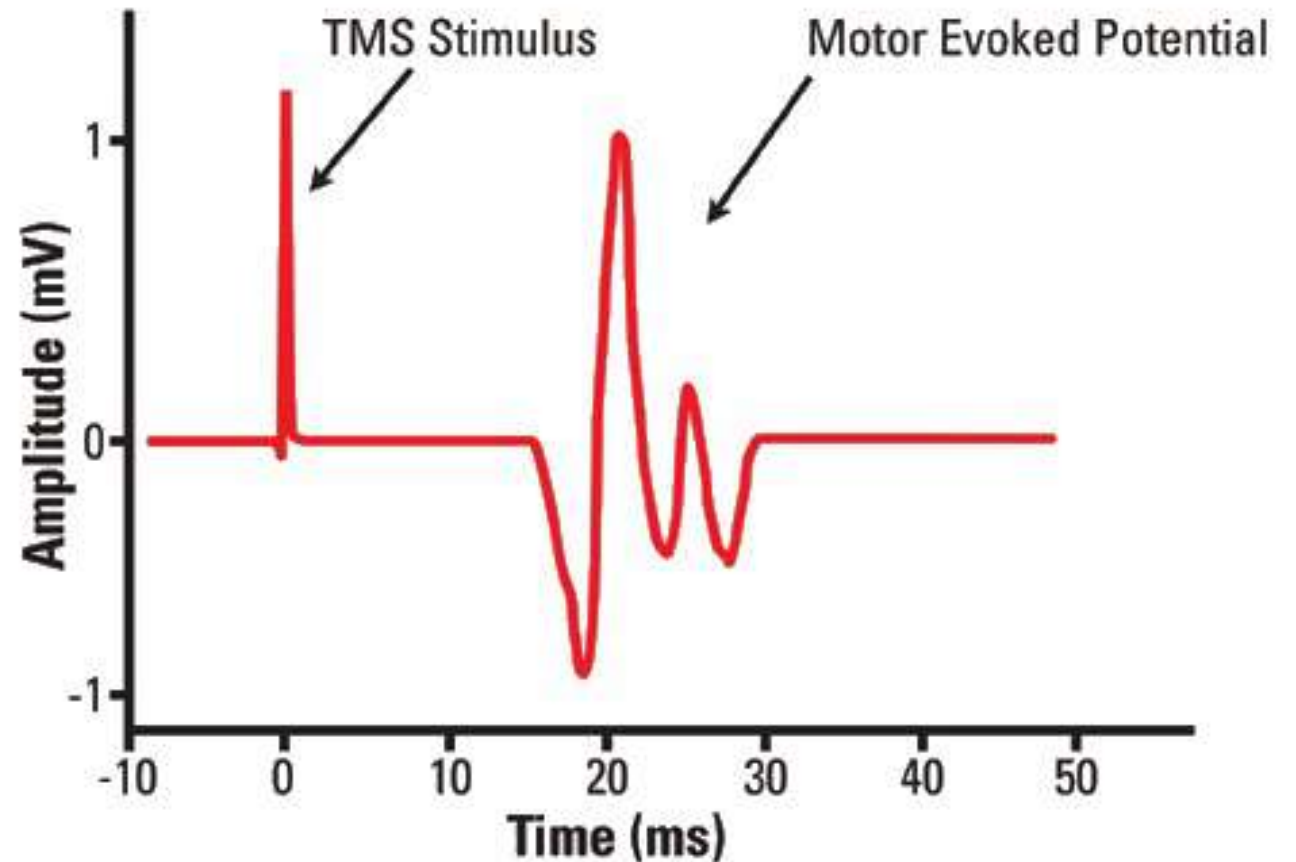
Une bobine magnétique est placée sur le crâne. Un champ magnétique est induit, qui interfère avec l'activité électrique à l'intérieur du cerveau. Le flux d'électricité qui traverse l'appareil provoque une augmentation (ou une diminution) de l'activité des neurones dans les zones ciblées.



TMS sur le cortex moteur

**EFFETS VISIBLES QUELQUES
MILLISECONDES
APRÈS STIMULATION**

Mouvements incontrôlés :
réponses au niveau musculaire
induit par l'application de TMS
sur le cortex moteur.

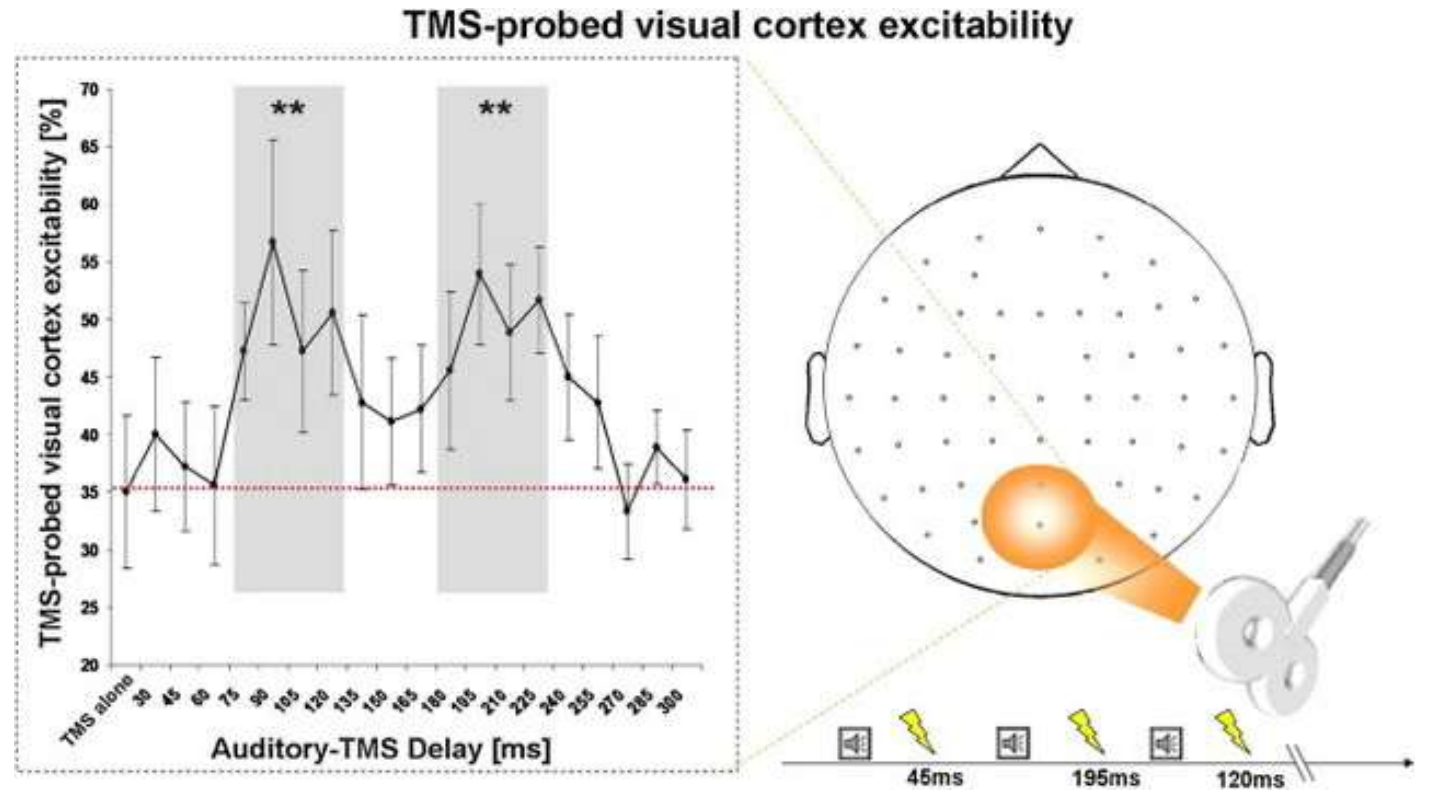


TMS sur le cortex visuel

**EFFETS VISIBLES QUELQUES
MILLISECONDES
APRÈS STIMULATION**

Des éclairs de lumière :

Percepts artificiels
induite par l'application de TMS
sur le cortex visuel.



La durée

Les effets de la TMS répétitive peuvent durer pendant une période équivalente à la moitié de la durée de la stimulation. Par exemple, en appliquant la TMS pendant 30 minutes, on peut s'attendre à ce qu'un effet d'interférence dure 15 minutes après la fin de la stimulation.

Résolution spatiale : bonne (quelques millimètres)

Paradigme de la lésion virtuelle

Le champ magnétique interfère avec l'activité électrique d'une zone donnée du cerveau : une lésion virtuelle (et temporaire !) est induite.

Cela affecte les mesures comportementales (mineur précision et/ou temps de réaction plus long) dans les tâches cognitives qui impliquent la zone affectée par la lésion virtuelle.



Contrairement aux autres techniques de neuro-imagerie qui établissent une corrélation entre une zone spécifique du cerveau et une fonction donnée, la TMS, en tant que technique d'interférence, permet d'identifier une **relation de cause à effet** entre les deux.

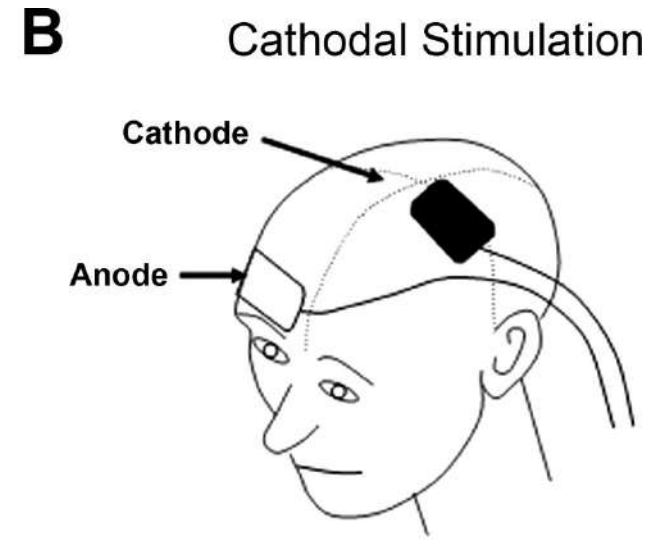
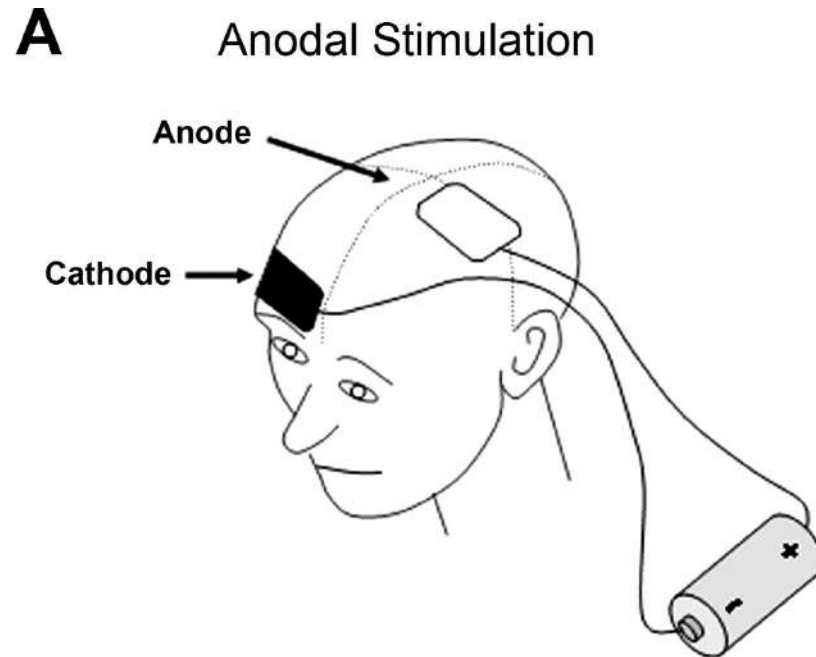
Stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS)

- La tDCS utilise un courant continu faible et constant délivré par des électrodes sur le cuir chevelu pendant une période prolongée (5 à 30 minutes).
- La tDCS provoque des changements corticaux même après la fin de la stimulation. La durée de ce changement dépend de la durée et de l'intensité de la stimulation.
- Résolution spatiale : limitée. Parce que le courant traverse le cerveau de l'anode à la cathode il est difficile de relier les effets de la tDCS à une région cérébrale spécifique.

Stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS)

La stimulation positive
(tDCS anodale)
augmente l'excitabilité
neuronale

La stimulation négative
(tDCS cathodique)
diminue l'excitabilité
des neurones.



PARTIE II : MÉMOIRE À COURT TERME VERBALE

Mémoire à court terme verbale

La mémoire à court terme verbale est un système utilisé pour la conservation temporaire d'informations (quelques secondes) sous forme vocale.

Il se compose de deux éléments :

1. Un entrepôt phonologique, qui conserve le matériel dans un code phonologique mais le matériel phonologique se décompose dans 2-3 seconds.

Mémoire à court terme verbale

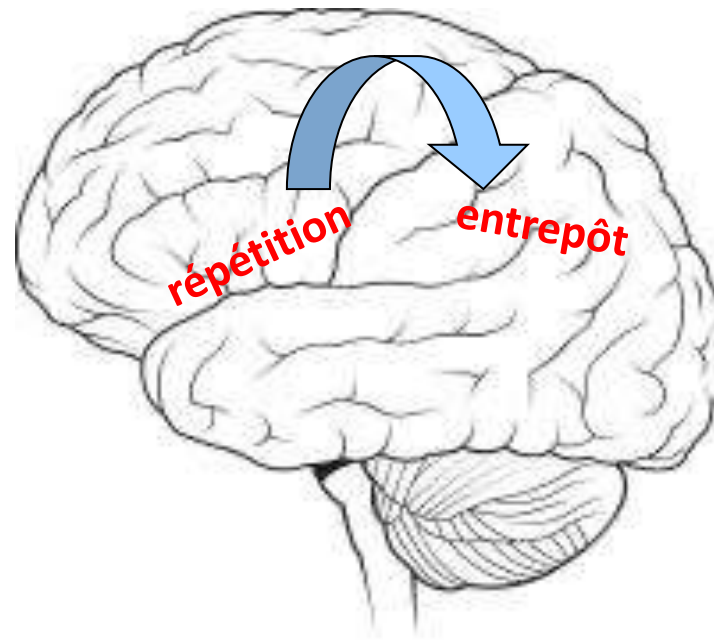
La mémoire à court terme verbale est un système utilisé pour la conservation temporaire d'informations (quelques secondes) sous forme vocale.

Il se compose de deux éléments :

1. Un entrepôt phonologique, qui conserve le matériel dans un code phonologique mais le matériel phonologique se décompose dans 2-3 seconds.
2. Processus de répétition articulatoire qui sert à rafraîchir le matériel en décomposition dans la mémoire phonologique et à recoder le matériel non phonologique (images ou mots écrites).

Baddeley, 2000

Mémoire à court terme verbale



Corrélat neuronal

- Le corrélat neuronal de la composante de répétition articulatoire a été identifié comme étant le gyrus frontal inférieur (BA44). Le BA44 fait partie de l'aire de Broca.



- Le corrélat neuronal de l'entrepôt phonologique a été identifié comme étant le gyrus supramarginal (BA40).



PARTIE III : MÉMOIRE À COURT TERME ET SYNTAXE

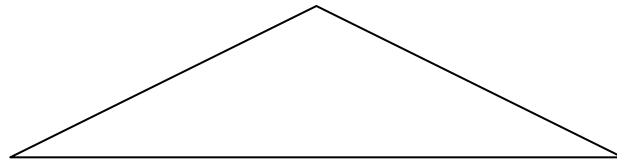
Mémoire à court terme verbale et syntaxe

Il est incontestable qu'une certaine forme de mémoire à court terme est impliquée dans la compréhension si la phrase est suffisamment longue et/ou complexe.

Le cas paradigmatique est celui des relations à emboîtement central.

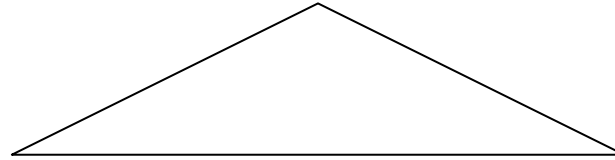
Emboitement central

Les hommes courent



Emboitement central

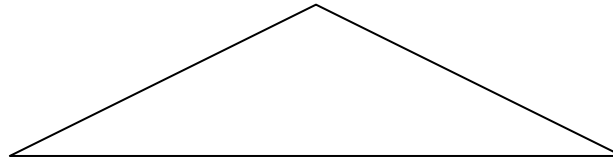
Les hommes courent



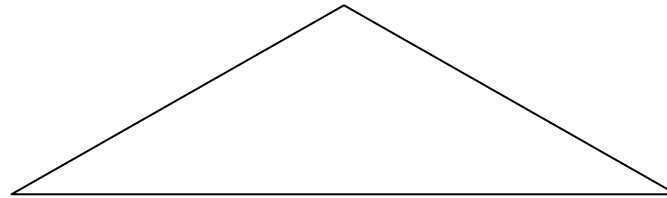
Les hommes **que les lions poursuivent** courent

Emboitement central

Les hommes courent



Les hommes **que les lions poursuivent** courent



Les hommes **que les lions que les femmes chassent poursuivent** courent

Pourquoi l'emboîtement central est-il difficile ?

(iii) ne résulte pas d'une opération illicite car l'étape qui conduit de (ii) à (iii) est la même opération licite que celle qui conduit de (i) à (ii), à savoir la modification d'un nom par une phrase relative :

(i) **Les hommes courent**

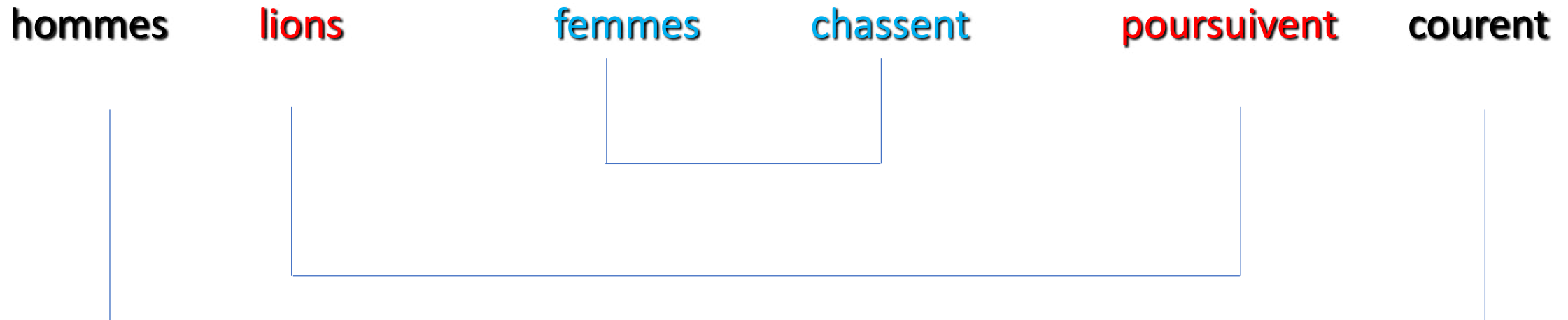
(ii) **Les hommes que les lions poursuivent courent**

(iii) **Les hommes que les lions que les femmes chassent poursuivent courent** 🤔

Pourquoi l'emboîtement central est-il difficile ?

(iii) **Les hommes** **que les lions** **que les femmes chassent** **poursuivent** **courent**

(iii) est probablement impossible à traiter parce qu'il dépasse la capacité de la mémoire à court terme de la plupart des locuteurs (Miller & Chomsky 1963). Deux dépendances doivent être calculées avant que le sujet *hommes* puisse être relié à son prédicat.



PARTIE III : DÉFICITS DE LA MÉMOIRE À COURT TERME

Processing of syntactically complex sentences relies on verbal short-term memory: Evidence from a short-term memory patient

Costanza Papagno and Carlo Cecchetto

Università di Milano-Bicocca, Milan, Italy

Fabiola Reati

Università di Milano Bicocca and Istituto Auxologico IRCCS, Milan, Italy

Lorenzo Bello

Università degli Studi di Milano and Fondazione IRCCS Ospedale Maggiore Policlinico, Mangiagalli e Regina Elena, Milan, Italy

Le profil linguistique de MC

Certains patients ont des problèmes avec les phrases complexes, comme celles avec emboitement central, même si leurs capacités linguistiques ne sont pas altérées par ailleurs (ou presque).

Un exemple est le MC, décrit par Papagno, Cecchetto, Reati et Bello (2007).

COGNITIVE NEUROPSYCHOLOGY, 2007, 24 (3), 292–311

 Psychology Press
Taylor & Francis Group

Processing of syntactically complex sentences relies on verbal short-term memory: Evidence from a short-term memory patient

Costanza Papagno and Carlo Cecchetto
Università di Milano-Bicocca, Milan, Italy

Fabiola Reati
Università di Milano Bicocca and Istituto Auxologico IRCCS, Milan, Italy

Lorenzo Bello
Università degli Studi di Milano and Fondazione IRCCS Ospedale Maggiore Policlinico, Mangiagalli e Regina Elena, Milan, Italy

Le profil linguistique de MC

Au moment de l'examen, MC était une femme droitrière de 35 ans, avec 17 ans d'éducation. Une IRM a montré un oligodendrogliome (qui a ensuite été retiré chirurgicalement) touchant la partie postérieure des deuxième et troisième gyri frontaux gauches et s'étendant jusqu'à l'insula.

MC, Span

Le span est le nombre d'éléments qui peuvent être répétés correctement dans l'ordre dans lequel ils ont été présentés.

MC avait un span numérique de 3 (ce qui, ajusté en fonction de l'âge et du niveau d'éducation, correspond à 2,25) et un span verbal de 3 (ce qui, ajusté en fonction de l'âge et du niveau d'éducation, correspond à 2).

Voici le profil d'un patient souffrant d'un déficit sévère du STM verbal.

Des examens plus spécifiques ont montré que MC présentait un déficit dans la composante de répétition de la STM verbale (le magasin mémoire phonologique était préservée).

MC, pas de déficit linguistique général

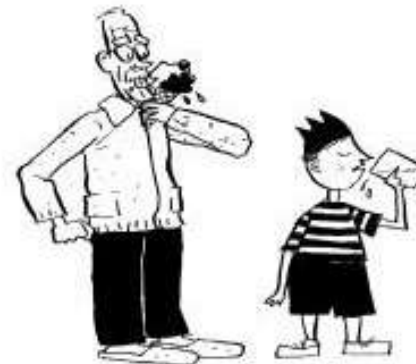
Dans la vie quotidienne MC n'a fait état d'aucun déficit linguistique, hormis la difficulté à se souvenir des numéros de téléphone.

Ses résultats aux tests cliniques standard d'évaluation du langage étaient dans la norme.

Néanmoins, une tâche d'association phrases-images spécialement conçue pour elle a permis de faire émerger quelque chose.

Ce que le MC peut faire, la coordination

Grand-père boit du vin et le garçon mange une glace



Ce que le MC ne pas peut faire, l'emboîtement central

Le garçon qui regarde le chat mange une pomme.



MC, résultats du test d'association phrases-images

Types of sentence	MC's number of errors	Controls' mean error
Active	1	0
Passive	1	0
Subject relatives in right peripheral position	1	0.25
Object relatives in right peripheral position	4	0
Centre-embedded subject relatives	12	0.5
Centre-embedded object relatives	13	0
Coordinate clauses	1	0

Test d'association phrases-images : nombre d'erreurs par type de phrase produite par MC et par quatre témoins appariés (20 phrases pour chaque type).

Résumé de la performance des MC

- MC a obtenu de bons résultats dans l'ensemble, y compris en ce qui concerne les phrases relatives sur l'objet qui sont connues pour être très complexes.
- Elle a obtenu de très mauvais résultats sur les structures avec emboîtement central , y compris celles qui ne sont pas difficiles par la population générale.

PARTIE V : RETOUR SUR LES TECHNIQUES DE STIMULATION CÉRÉBRALE

Stimulation sur BA44

- But: appliquer la TMS et la tDCS sur le corrélat neuronal de la composante de répétition de la mémoire verbale à court terme (BA44), qui a été altérée dans la MC.
- En principe, étant donné qu'elle crée une lésion virtuelle, la TMS sur BA44 pourrait/devrait temporairement susciter, dans une population saine, une performance qui se rapproche de celle de MC dans la même tâche d'association phrases-images .
- En augmentant l'excitabilité neuronale, la tDCS anodale sur le BA44 pourrait améliorer les performances dans les tâches difficiles pour le MC. Cela pourrait ouvrir la voie à des applications cliniques.

Stimulation sur BA40

Afin d'obtenir une image plus complète, la TMS a également été appliquées au corrélat neuronal de la mémoire phonologique (BA40). Celui-ci a été préservé chez MC mais est altéré chez d'autres patients souffrant de différentes lésions.

Stimulation TMS

Neuropsychologia 48 (2010) 4003–4011



Contents lists available at ScienceDirect

Neuropsychologia

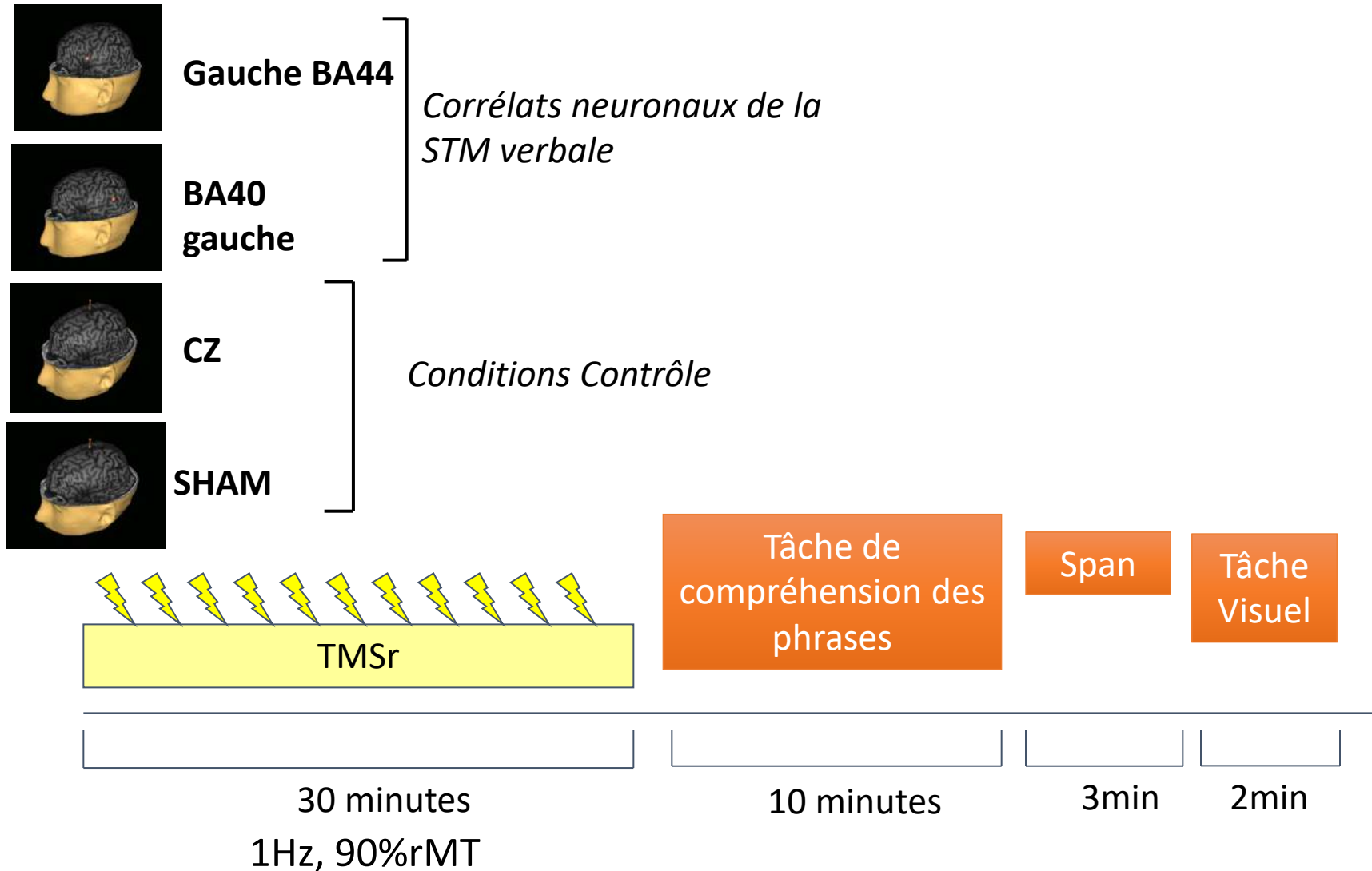
journal homepage: www.elsevier.com/locate/neuropsychologia



A case for the involvement of phonological loop in sentence comprehension

Leonor J. Romero Lauro^{a,b,*}, Janine Reis^{b,c}, Leonardo G. Cohen^b, Carlo Cecchetto^a, Costanza Papagno^a

Plan de l'expérience



Condition de contrôle I, SHAM

Afin d'exclure que un eventual effet puisse être attribué à un effet placebo, une condition sham a été ajoutée (la TMS sham imite les effets auditifs et/ou somato-sensoriels de la TMS active sans stimulation réelle du cerveau).

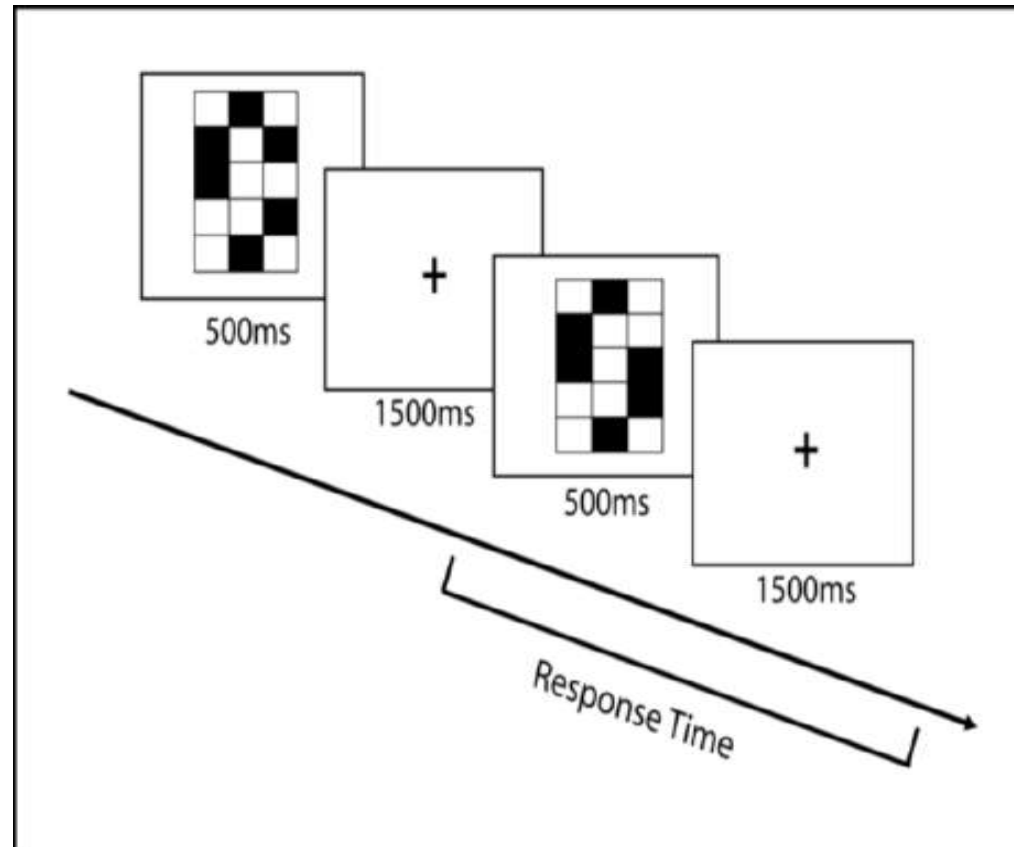
Condition de contrôle II, CZ

Afin d'exclure que un eventual effet puisse être attribué à une stimulation générale, une autre condition de contrôle a été ajoutée : la TMS a été appliquée au CZ, une zone du cerveau qui n'est impliquée ni dans le traitement du langage ni dans la mémoire à court terme.

Expérience de contrôle, tâche visuelle

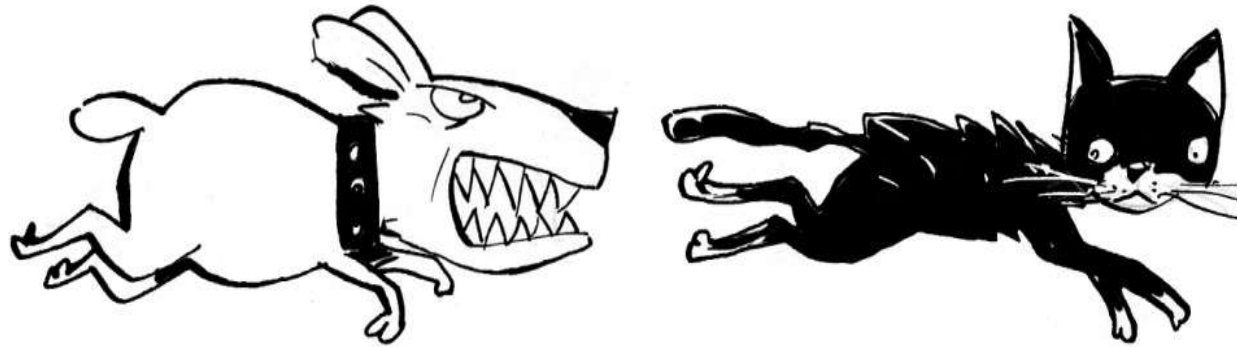
Pour montrer que un éventuel effet est spécifique à la tâche d'association phrases-images , une tâche non linguistique a été ajoutée, avec le même niveau de difficulté (mesuré par des taux similaires de performances correctes sans TMS).

Les participants devaient comparer si deux damiers étaient identiques ou non.



Types de phrases

- Courtes (phrases passives)



Le chat est poursuivi par le chien

Types de phrases

- Longues (c'est-à-dire phrases coordonnées)



La fille boit du lait et le garçon mange un gâteau.

Types de phrases

Complexe 1 (phrases relatives, pas d'emboîtement central)

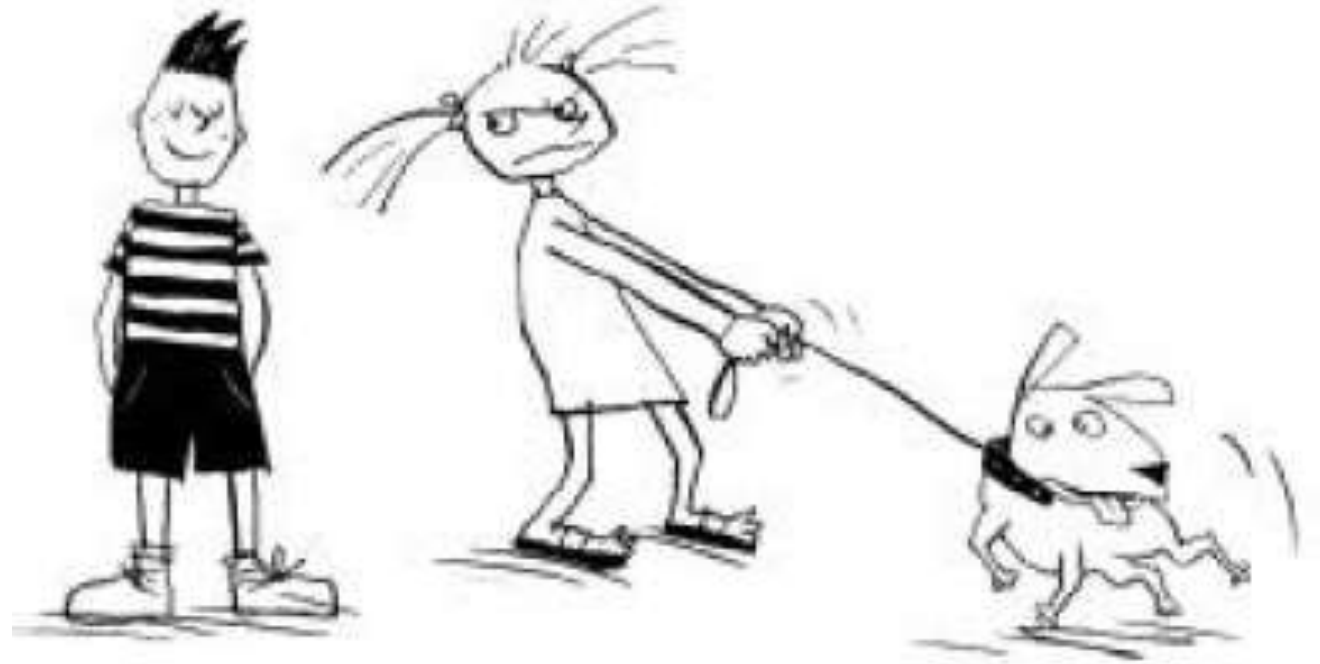
*Le chat regarde l'homme qui
touche l'oiseau*



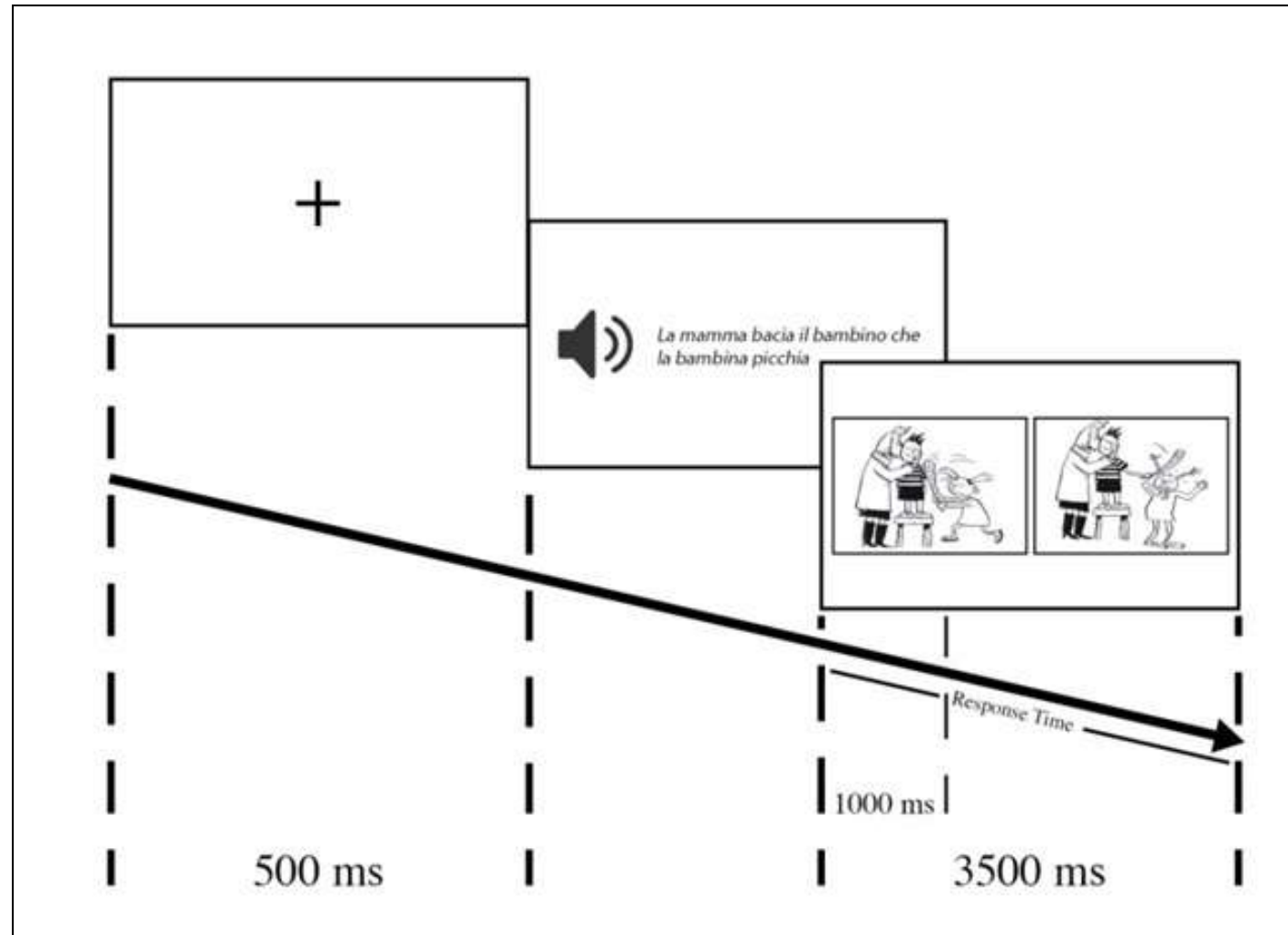
Types de phrases

Complexe 2 (phrases relatives avec emboîtement central)

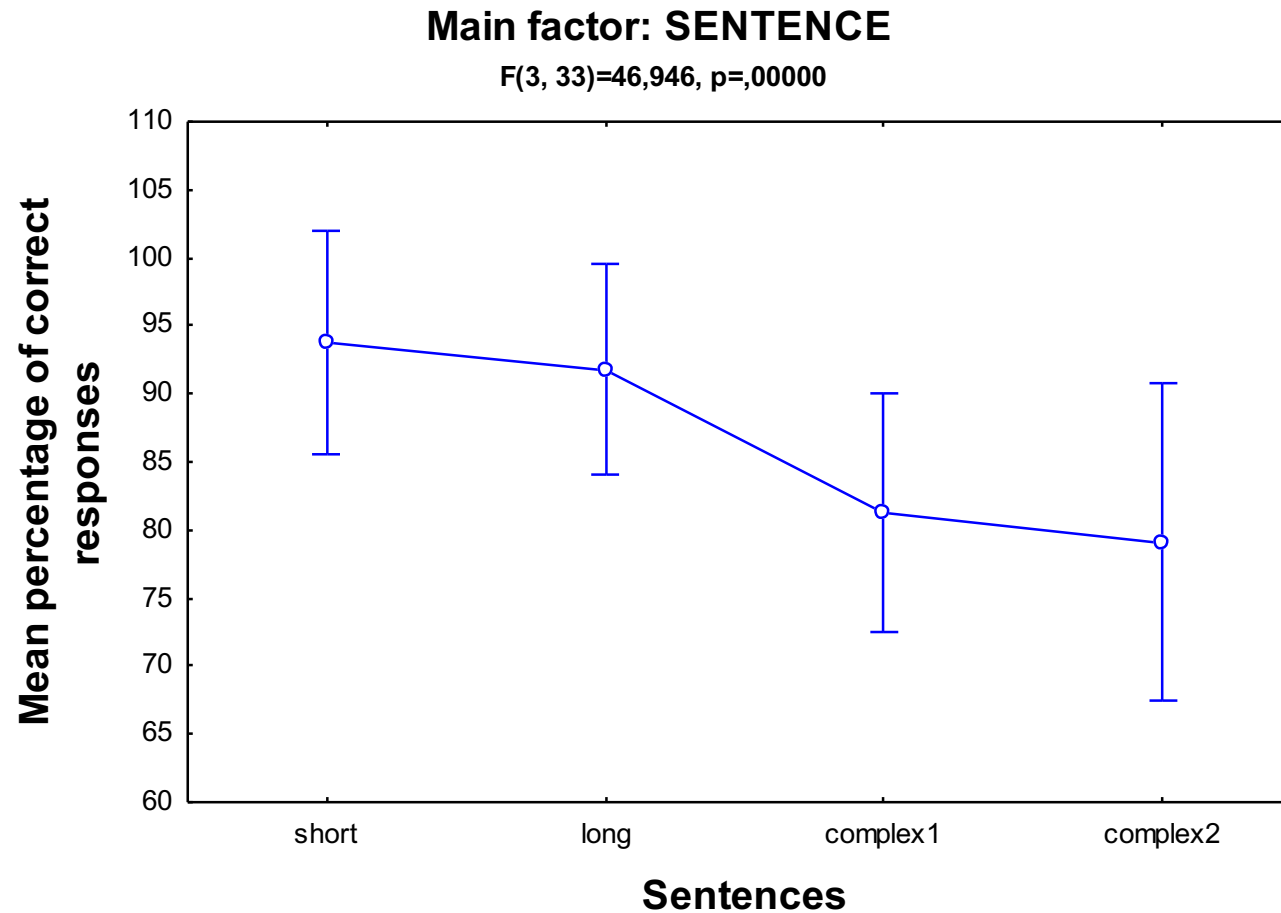
*La fille qui tire le chien
regarde l'enfant.*



La tâche d'association phrases-images

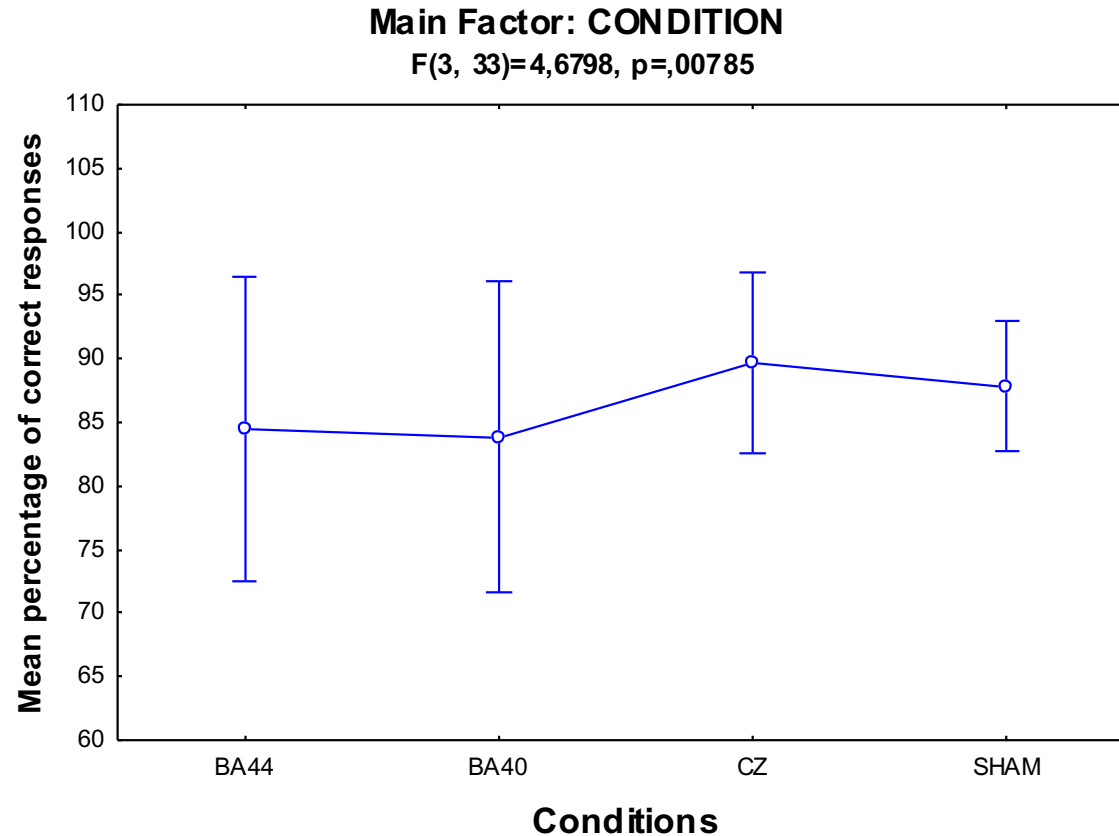


Résultats. Compréhension des phrases : Précision



Les quatre types de phrases ont été classés en fonction de la difficulté attendue.

Résultats. Compréhension des phrases : Précision



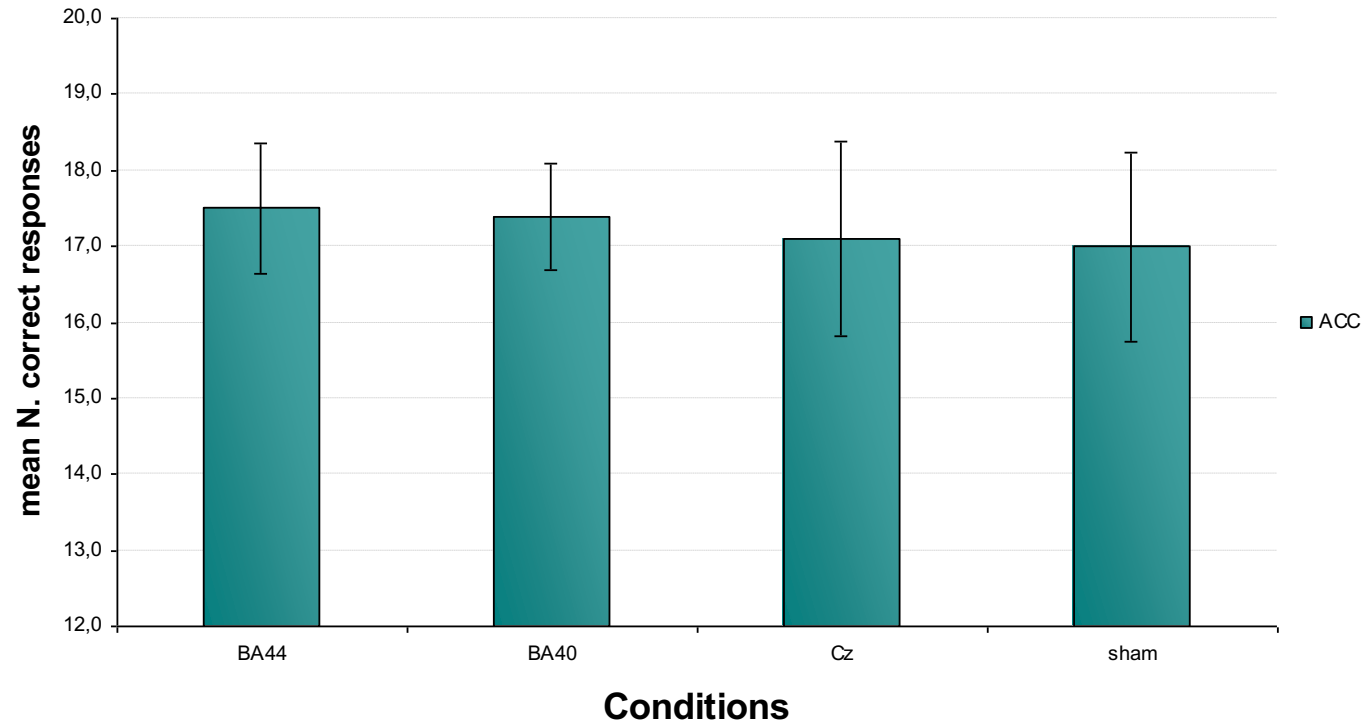
L'effet principal de la condition était significatif avec un nombre plus élevé d'erreurs lorsque la TMS était appliquée sur BA44 et BA40 par rapport aux conditions CZ et Sham.

Résultats. Compréhension des phrases : Précision

Le pourcentage moyen de réponses correctes était de 89,7%, 87,8% au CZ, 84,5 % et 83,8 % lors de la stimulation du BA44 gauche et du BA40 gauche, respectivement.

Ce pourcentage élevé de réponses correctes avec la stimulation par TMS est dû au fait que, bien que la TMS soit utilisée pour provoquer une "lésion virtuelle temporaire", elle n'inactive pas une région de la même manière qu'une lésion.

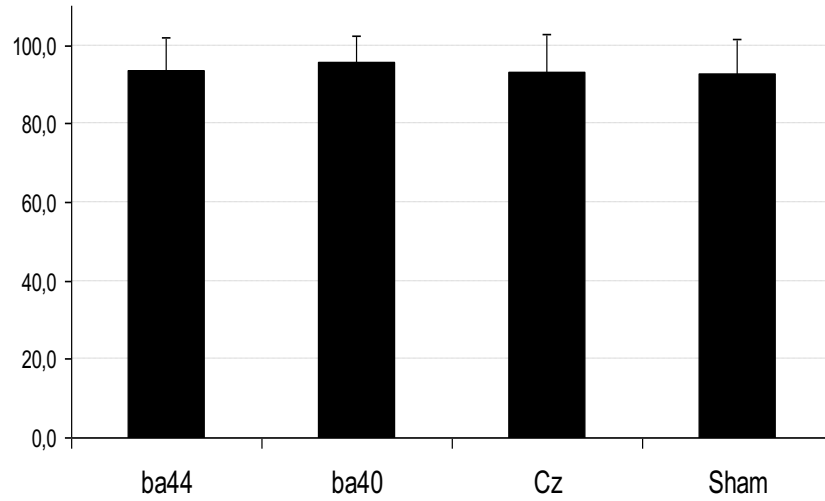
Résultats : Précision dans la tâche visuelle



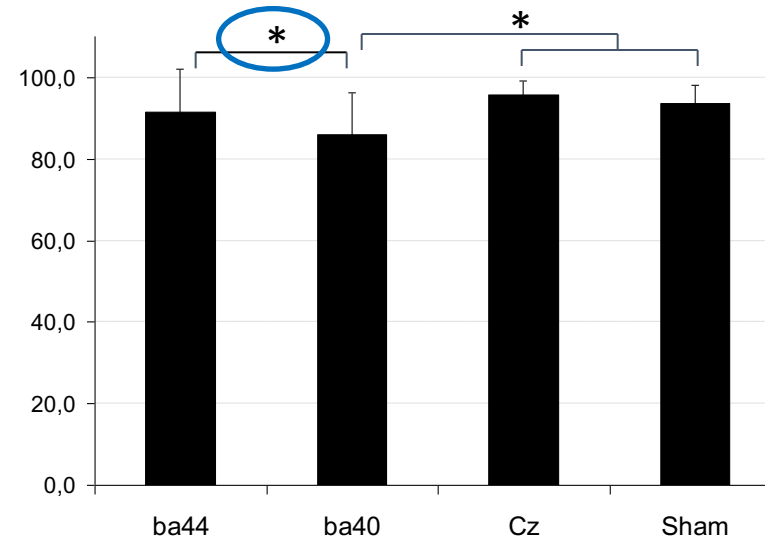
Pas d'effet de la stimulation TMS

Interaction

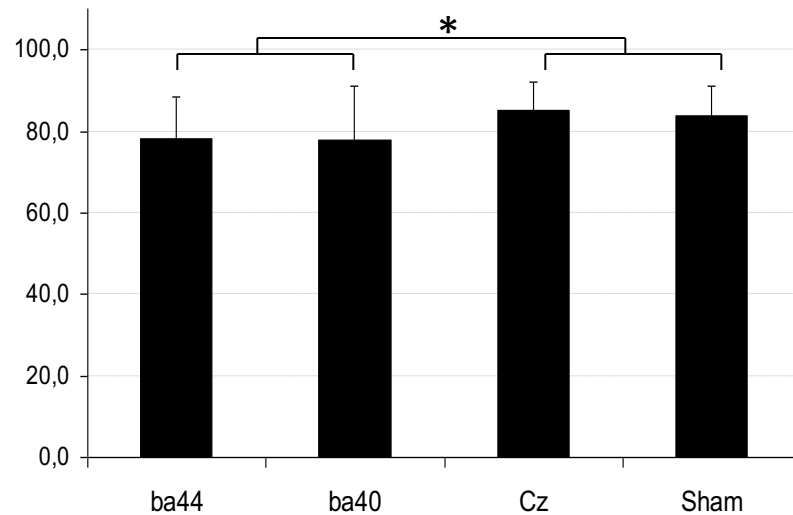
passives



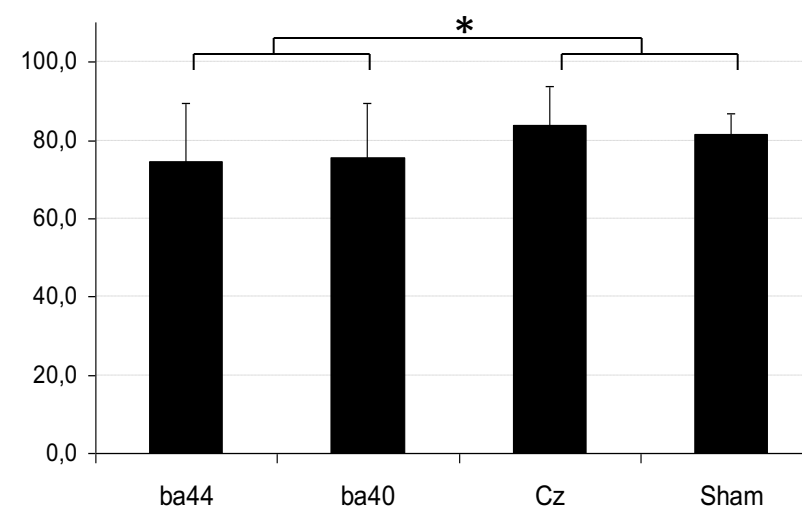
coordination des phrases



relatives sans emboitement central



relatives avec emboitement central



Résumé des principaux résultats

- L'interaction entre la condition et le type de phrase était significative.
- La TMS sur BA44 et sur BA40 a réduit de manière significative la précision avec des phrases contenant des proposition relatives (sans et avec emboitement central) par rapport à Sham et CZ.
- La TMS sur le BA40 a réduit de manière significative la précision des phrases avec coordination par rapport au BA44, au Sham et au CZ.

Résumé de l'expérience TMS

- Un effet de la lésion virtuelle spécifique à certains types de phrases a été obtenu.
- La syntaxe a été manipulée et (temporairement !) altérée.
- Mais peut-on obtenir un effet de stimulation en appliquant la technique tDCS ? Cela pourrait ouvrir la voie à des applications cliniques.

LA PREMIÈRE EXPÉRIENCE tDCS

Brain and Language 176 (2018) 36–41



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Brain and Language

journal homepage: www.elsevier.com/locate/b&l



Short communication

Anodal transcranial direct current stimulation over left inferior frontal gyrus enhances sentence comprehension



Beatrice Giustolisi^{a,*,1}, Alessandra Vergallito^{a,1}, Carlo Cecchetto^{b,a}, Erica Varoli^c, Leonor J. Romero Lauro^a

L'intérêt clinique de la tDCS anodale

- Outre les effets à court terme survenant après la stimulation, la tDCS pourrait avoir des effets à long terme, par le biais de la plasticité synaptique.
- Tout résultat montrant que la tDCS anodale peut améliorer la compréhension des phrases pourrait être d'un grand intérêt du point de vue de la neuro-réhabilitation.

tDCS anodale sur BA44

- Une stimulation anodale tDCS ou sham a été appliquée pendant que les participants entendaient différents types de phrases et devaient choisir parmi deux images celle qui correspondait à la phrase.
- La tâche de contrôle était d'une difficulté équivalente et suivait la même logique : les participants voyaient d'abord un damier et devaient ensuite l'identifier parmi deux damiers très similaires.

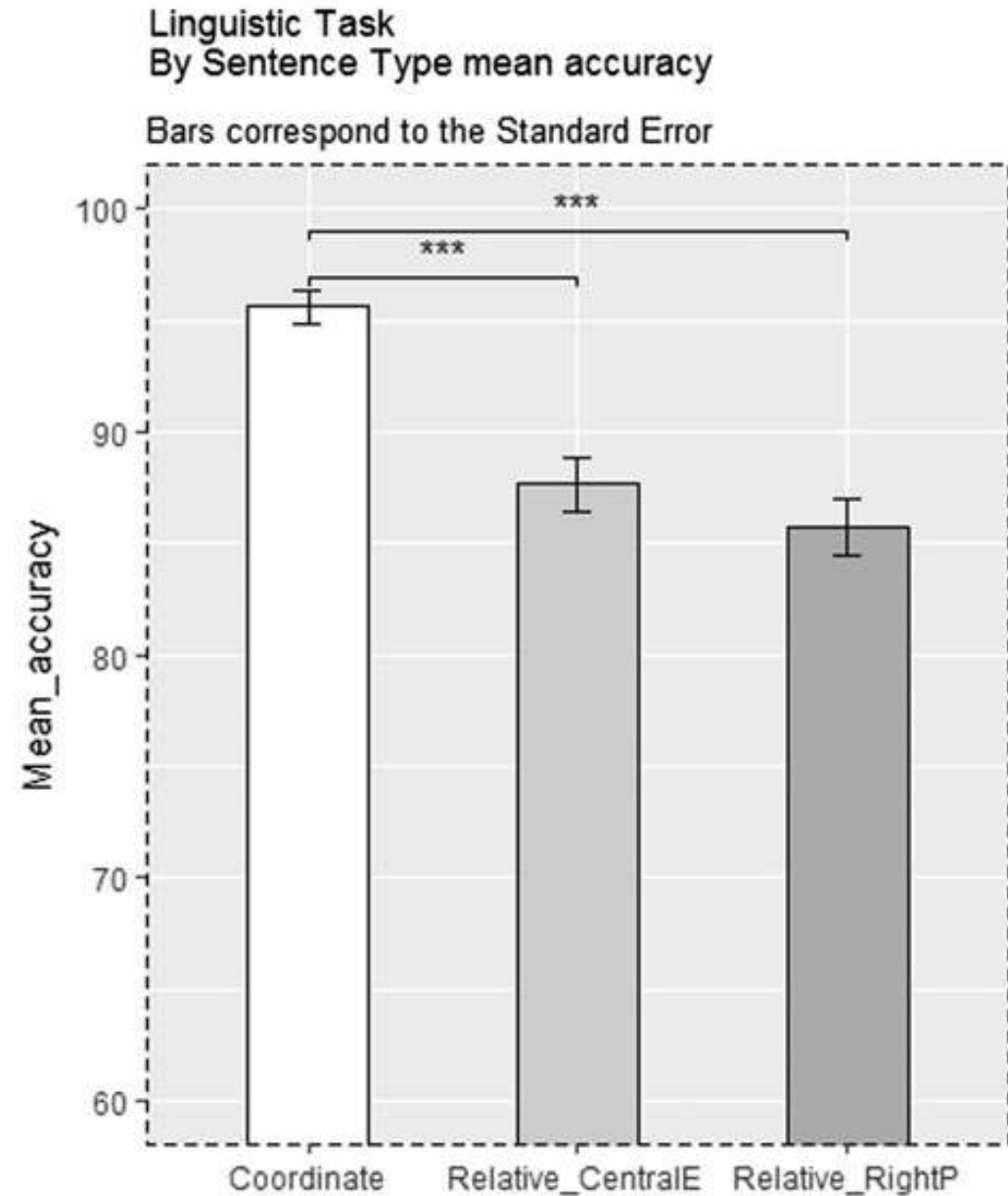
Stimuli linguistiques

Trois types :

- Phrases coordonnées : "*Le garçon regarde le chat et la femme caresse le chien*".
- Phrases relatives avec emboîtement central : "*Le chien qui poursuit le chat regarde la fille*".
- Phrases relatives sans emboîtement central : "*L'homme regarde le chien qui poursuit le chat*".

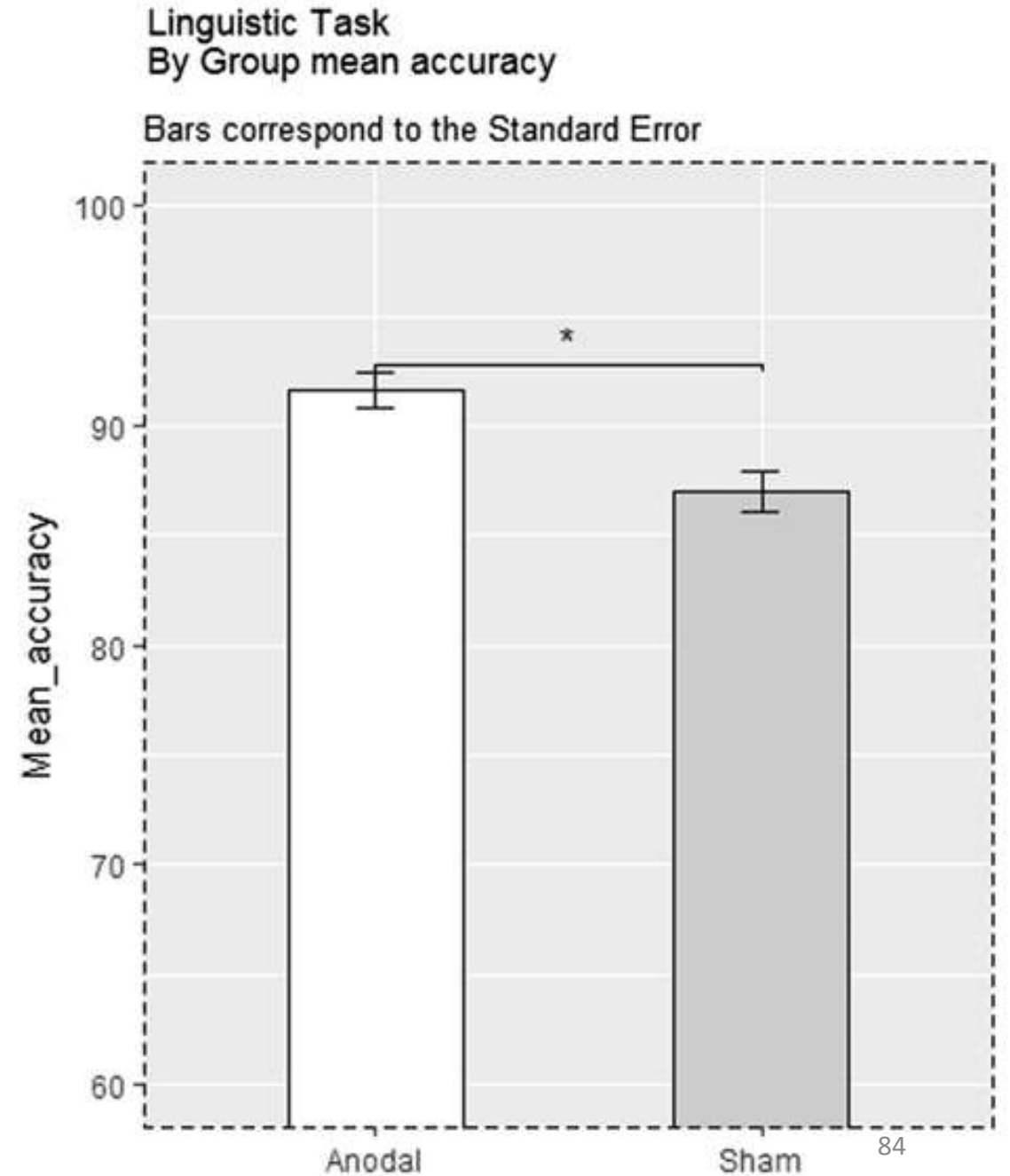
Résultats

Dans les tâches d'association phrase-image, les participants ont obtenu de meilleurs résultats avec les phrases coordonnées que avec les phrases relatives (sans ou avec emboitement central (pas de surprises)).



Résultats

Dans les tâches d'association phrase-image, les participants ont obtenu de meilleurs résultats dans la condition tDCS que dans la condition Sham, alors que dans la tâche de contrôle, aucune différence n'est apparue entre les deux conditions.



Comparaison entre les expériences tCDS et l'expérience TMS

Contrairement à l'expérience TMS, l'interaction type de phrase/groupe n'était pas significative, ce qui signifie que l'effet de la stimulation n'était pas spécifique au type de phrase.

L'absence d'interaction peut dépendre de plusieurs facteurs, notamment :

- L'expérience tDCS ne contenait pas de phrases courtes et simples
- La TMS a une meilleure résolution spatiale que la tCDS.

Un résultat encourageant

C'est un résultat qui a nous suggéré qu'une utilisation de la tDCS anodale dans la neuro-réhabilitation des déficits syntaxiques pourrait être viable, surtout parce que un autre étude semble confirmer la même conclusion (Lum et al. 2019, qui constatent que la tDCS anodale diminue les temps de réaction pour la compréhension des phrases, mais pas pour la compréhension des mots).

Lum, J. A., Clark, G. M., Rogers, C. M., Skalkos, J. D., Fuelscher, I., Hyde, C., et al. (2019). Effects of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation (atDCS) on Sentence Comprehension. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 1–5.

Mais.....

LA DEUXIÈME EXPÉRIENCE tDCS

Brain and Language 204 (2020) 104757



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Brain and Language

journal homepage: www.elsevier.com/locate/b&l



Short communication

Mind the stimulation site: Enhancing and diminishing sentence comprehension with anodal tDCS

Alessandra Vergallito^{a,b,1}, Erica Varoli^{b,c,d,1}, Beatrice Giustolisi^a, Carlo Cecchetto^{a,e}, Lilia Del Mauro^a, Leonor J. Romero Lauro^{a,b,*}

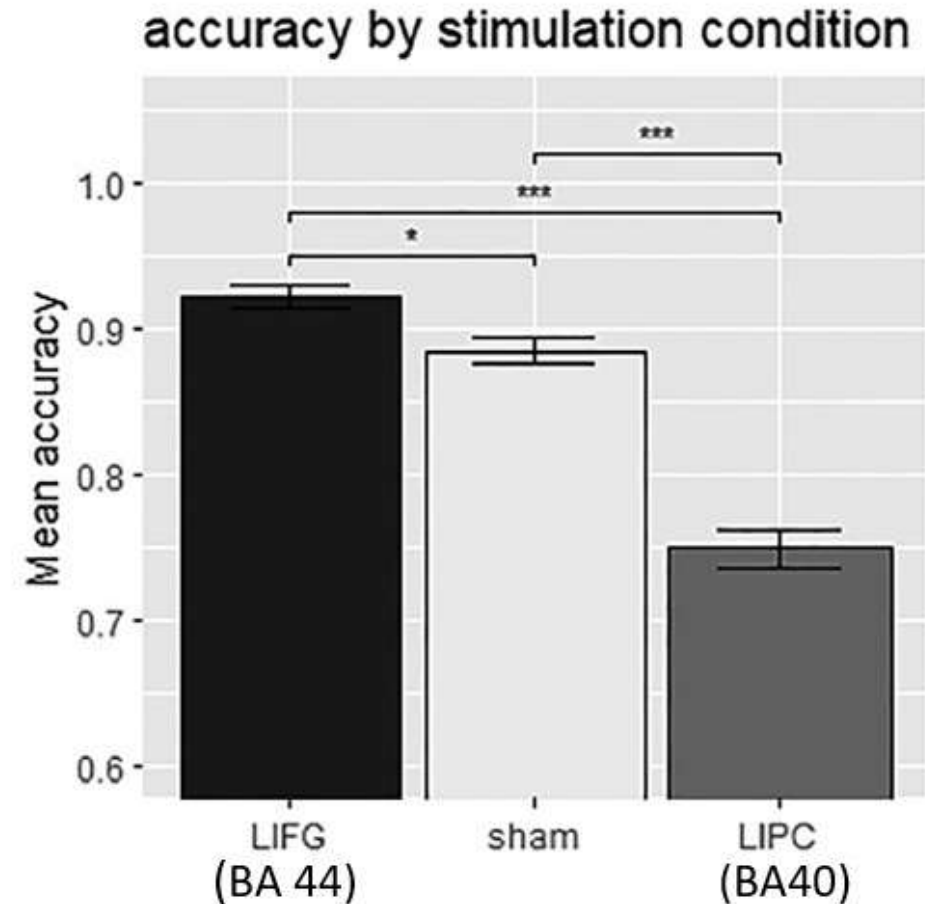


TDCS anodale sur le cortex pariétal inférieur gauche (BA40)

Une stimulation tDCS anodale ou sham a été appliquée au cortex pariétal inférieur gauche (LIPC), qui comprend la BA40, pendant que les participants effectuaient la même tâche linguistique que dans l'expérience impliquant une stimulation tDCS anodale sur la BA44.

Comparaison des deux expériences tDCS

L'effet simple de la condition de stimulation était significatif mais la stimulation du cortex pariétal inférieur gauche (LIPC) a *détérioré de manière significative* les performances des participants par rapport à la stimulation sham.

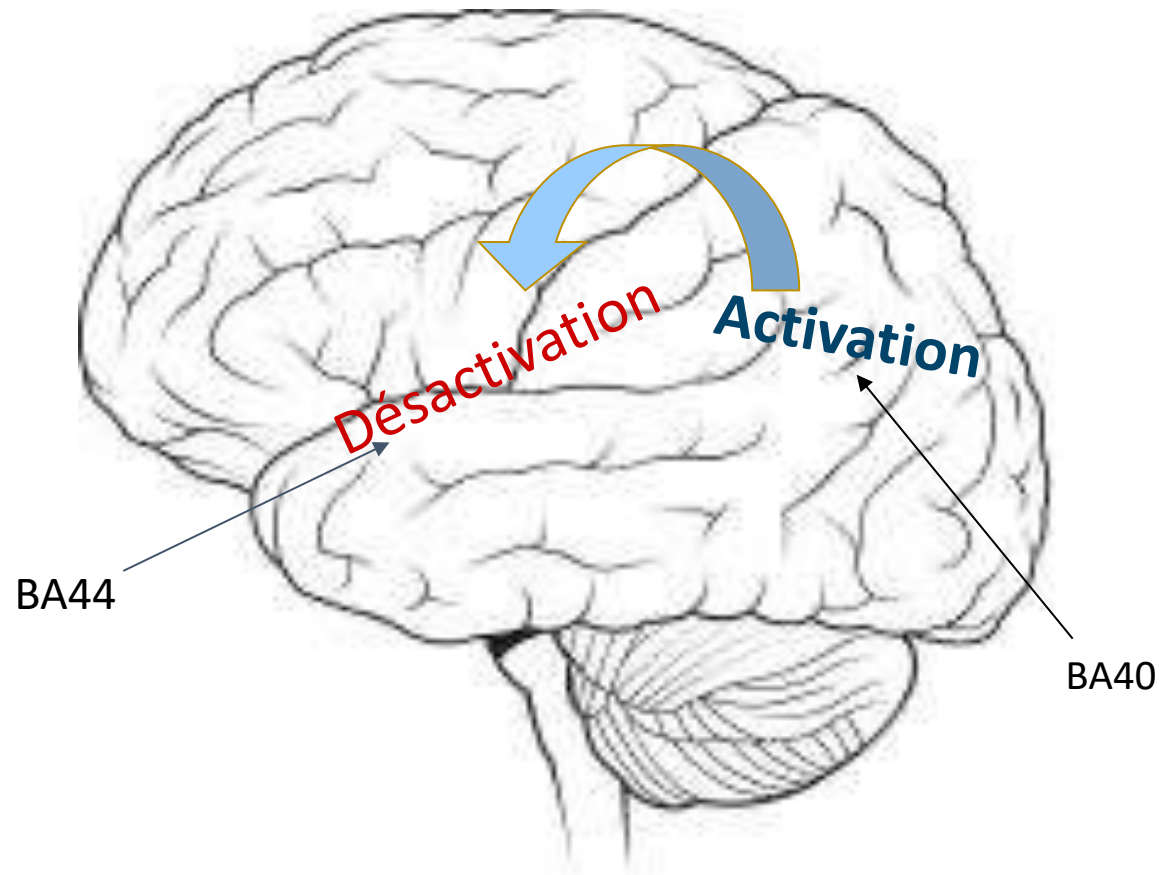


Pourquoi?

La tDCS anodale est censée *augmenter* l'excitabilité neuronale ; on s'attendait donc à une meilleure performance, comme dans le cas de la tDCS anodale sur la BA44.

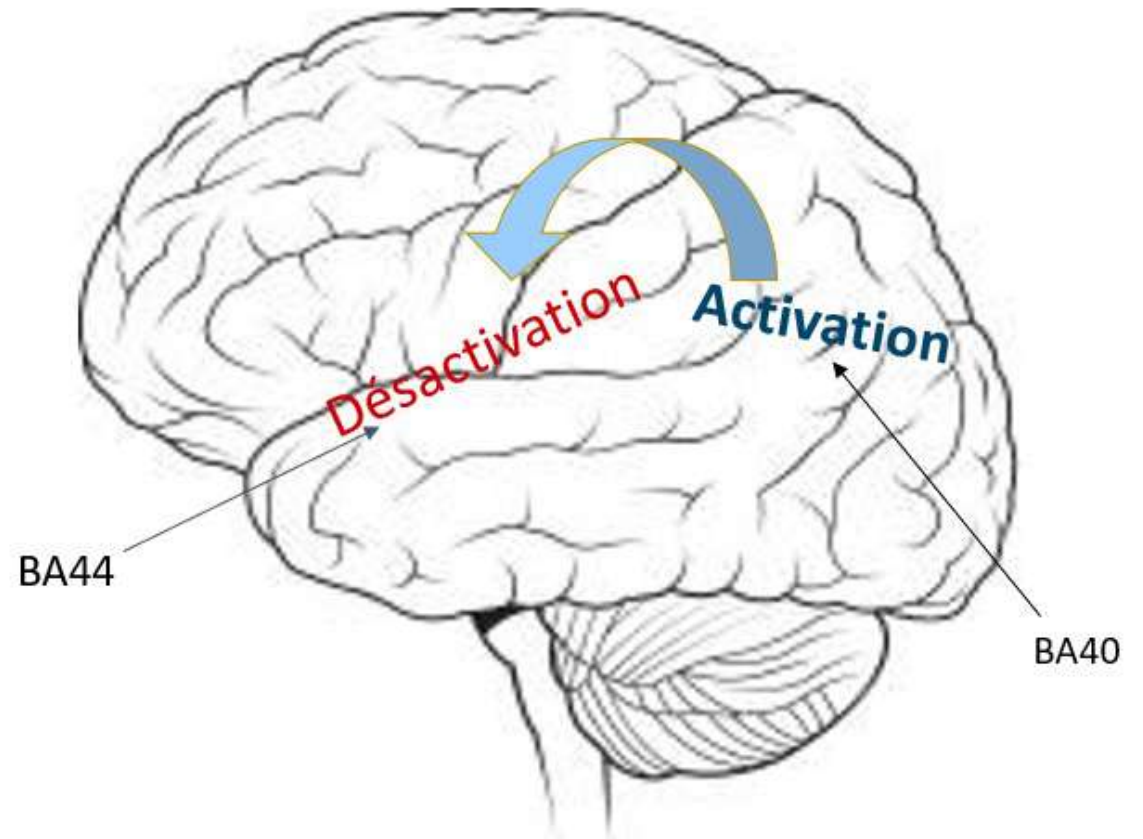
Cependant, une baisse des performances a été observée dans les trois types de phrases. Pourquoi ?

Un effet de réseau ?



Résultats, un effet de réseau ?

- La compréhension syntaxique est une tâche complexe qui implique probablement à la fois le BA40 et le BA44, le BA44 jouant un rôle central.
- Il est possible qu'une augmentation de l'excitabilité neuronale sur le BA40 déclenche une diminution de l'excitabilité neuronale sur le BA44.
- Des recherches supplémentaires sont nécessaires à ce sujet.



PARTIE VI : VERS UN'APPLICATION DE LA tDCS AVEC DES PATIENTS APHASIQUES

Discussion basée sur la thèse du doctorat de Giulia Gilardone
(Université de Milan-Bicocca. Soutenance prévue: printemps 2024)

Participants

Neuf italophones atteintes d'aphasie non fluente à la suite d'un accident vasculaire cérébral (ischémique ou hémorragique) en phase chronique (> 6 mois après l'accident vasculaire cérébral) ont participé à l'étude. Le diagnostic d'agrammatisme a été posé par des cliniciens expérimentés à partir de l'analyse de la parole spontanée.

À ce jour, sept des neuf participants inscrits ont terminé l'étude.

Schéma de l'étude

Les participants ont été divisés en deux groupes : le groupe expérimental a reçu la tDCS anodique sur BA 44 associée à une thérapie de réhabilitation du langage tandis que le groupe placebo a reçu le traitement la tDCS sham associée au la même thérapie. Le cycle de rééducation a duré quatre semaines consécutives, pour un total de 20 séances (cinq séances par semaine). Après une période de wash-out de 4 mois, pendant laquelle les effets du traitement précédent étaient censés disparaître, l'autre condition (20 séances de tDCS réelle ou sham associées à un traitement de compréhension du langage) a été administrée.

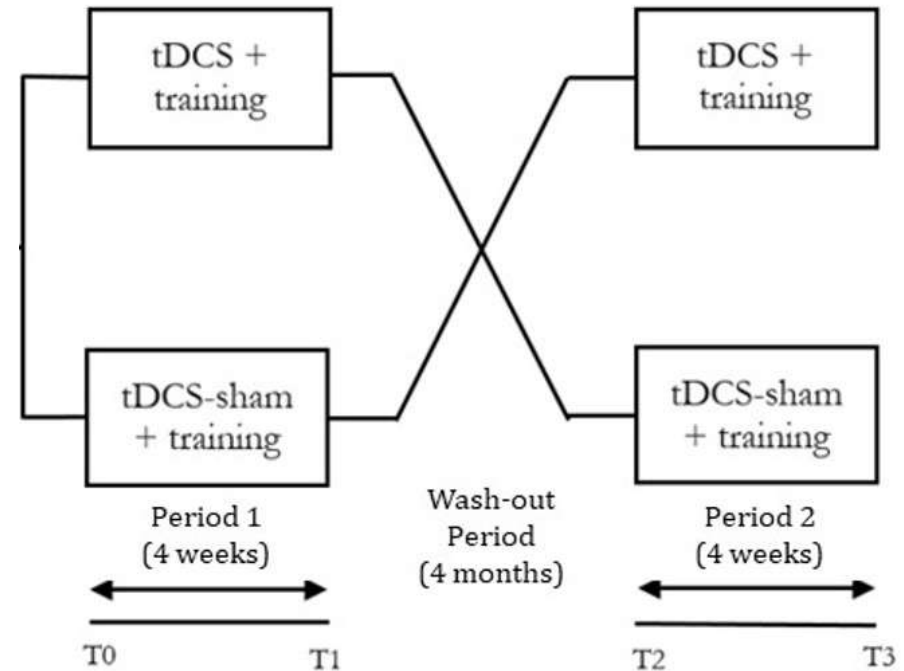
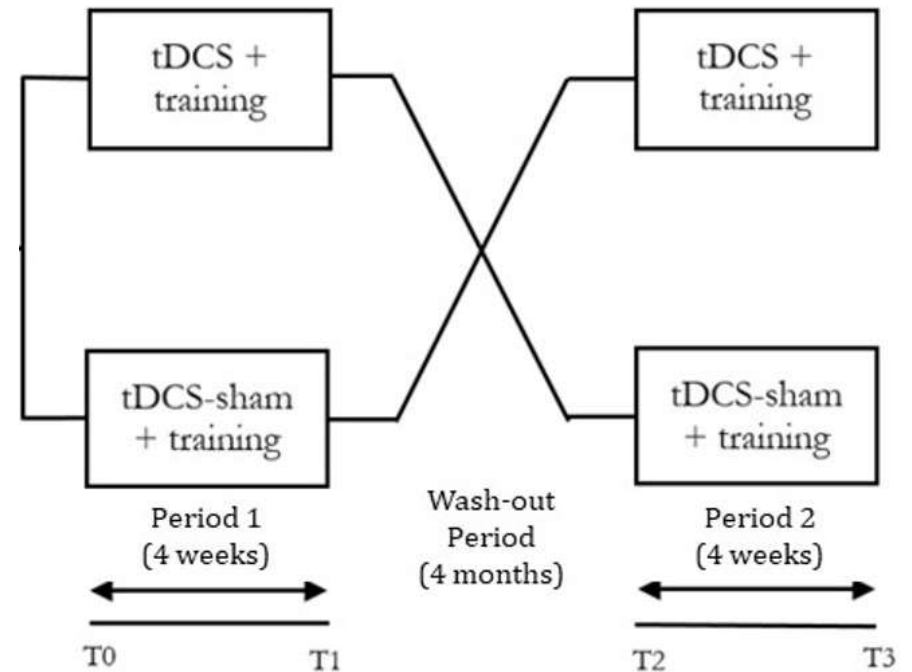


Schéma de l'étude

Afin d'évaluer un éventuel effet d'amélioration de de la tDCS sur la compréhension des phrases, la même batterie de compréhension du langage a été administrée avant (T0 et T2) et après (T1 et T3) chaque période de stimulation, qu'il s'agissait d'une stimulation réelle ou d'un placebo.



Les phrases ciblées

- Passives (*Le chat est poursuivi par le chien*)
- Relatives objet avec emboîtement central (*La fille que le chien tire regarde l'enfant*)
- Relatives objet sans emboîtement central (*La fille regarde l'enfant que le chien tire*)
- Relatives sujet avec et sans emboîtement central (*La fille qui tire le chien regarde l'enfant* ou *La fille regarde l'enfant qui tire le chien*)

Quelques résultats préliminaires

Dans toutes les conditions, une amélioration entre le pré et le post-traitement a été observée indépendamment de la condition tDCS réelle ou sham.

Cela se justifie par le fait qu'une thérapie de réhabilitation du langage a été effectuée à chaque étape.

Dans le cas des passives et des relatives objet avec emboîtement central, la récupération avec la condition tDCS réelle semble être plus importante qu'avec la condition sham.

- Passives. tDCS réelle : Amélioration 20 - 30 % , Sham : amélioration 10 %
- Relatives objet avec emboitement central. tDCS réelle : Amélioration 20 - 40 % , Sham : amélioration 0-30%

Quelques résultats préliminaires

Les participants ont rapporté une amélioration plus importante et cliniquement significative de leurs capacités de compréhension (gain > 10 points dans le questionnaire CETI, Communicative Effectiveness Index Questionnaire) uniquement après la stimulation réelle. Il est à noter que leurs soignants ont également rapporté un impact fonctionnel accru sur les capacités de communication après le cycle de stimulation réelle.

Message à emporter

Seul un effort coordonné, incluant l'expertise des linguistes, peut permettre de mieux comprendre et contrôler l'effet de la stimulation cérébrale, puisque cet effet est, entre autres, spécifique au type de phrase.

Cet effort est une condition préalable aux applications cliniques de ces techniques.