

Cours 2015:

Représentation cérébrale des structures linguistiques

Stanislas Dehaene

Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

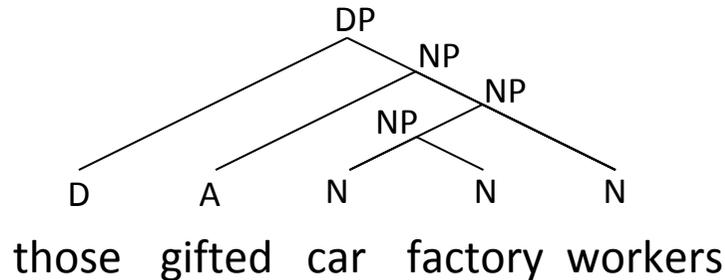
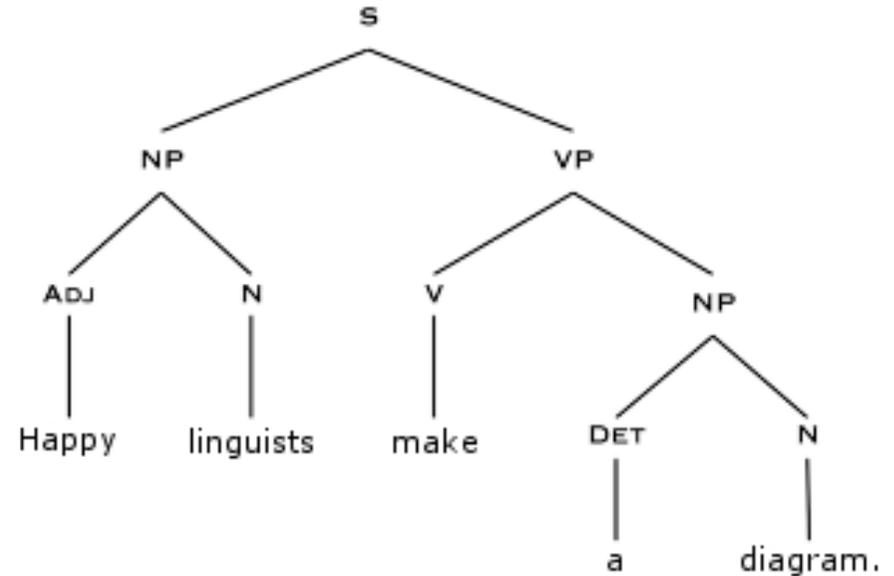
Cours n°5

Représentation cérébrale des syntagmes

La théorie linguistique contemporaine postule une représentation arborescente sous forme de syntagmes enchâssés.

La caractéristique principale du langage est sa capacité de créer de nouvelles expressions par enchâssement de syntagmes (“L’usage infini de moyens finis”)

((Happy linguists) (make (a diagram)))



Ambiguïtés syntaxiques: Black taxi driver
 Dutch bicycle maker
 tall rose grower

Peut-on identifier quelles aires cérébrales et quels codes neuronaux sont responsables de la formation des syntagmes enchâssés (fusion, unification, opération *Merge*) ?

Une étude en IRM fonctionnelle de la représentation des syntagmes

Pallier, C., Devauchelle, A. D., & Dehaene, S. (2011).

Cortical representation of the constituent structure of sentences. *PNAS*, 108(6), 2522-2527.

Hypothèse: Une région cérébrale impliquée dans la formation des arbres syntaxiques devrait montrer une activation croissante en fonction de la taille de l'arbre.

L'activation cérébrale devrait augmenter chaque fois qu'une nouvelle opération d'unification (*Merge*) est requise pour assembler deux syntagmes et en former un troisième:

(La fille) < (La (jolie fille)) < (La (fille (qui parle)))

Dans cet exemple, la taille des syntagmes est confondue avec le nombre de mots.

Avec Christophe Pallier et Anne-Dominique Devauchelle, nous avons créé des stimuli avec un nombre fixe de mots (toujours 12), mais une variation systématique de la taille des syntagmes.

Manipulation paramétrique de la taille des syntagmes

Stratégie = lecture de séquences de mots susceptibles ou non d'être "unifiés".

Tâche minimale = faire attention (questions) et cliquer sur un bouton quand la phrase le demande.

Taille des syntagmes	Exemples (phrases normales)
12 mots (c12)	il reçoit un sac de céréales cultivées dans le nord du pays
6 mots (c06)	la souris qui grignote sa tartine le passant examine le luxueux canapé
4 mots (c04)	le nord du pays il déteste la couleur elles lisent leur noms
3 mots (c03)	résoudre un problème réparent le plafond il croit lire achètera une télévision
2 mots (c02)	des taches les sources une cabane son chien le client des trous
1 mot (c01)	chose arbre que signaler elles instruments regardant tendu copie états coeur plus

Manipulation orthogonale du contenu lexico-sémantique

Dans les stimuli précédents, syntaxe, sémantique, probabilités de transition sont confondues.
Nous avons donc également introduit une condition **Jabberwocky** (pseudomots au lieu des mots à contenu).

Taille des syntagmes	Exemples (<i>Jabberwocky</i>)
12 mots (c12)	<i>une goupe reluse des ésous qui sapitaient le chadin de la prétine</i>
6 mots (c06)	<i>il bloint les moribres du sotoir elle perbire le monfum des peses</i>
4 mots (c04)	<i>de garsu laune lâle il dénonte ses penvêtes suire poufinir leur tésense</i>
3 mots (c03)	<i>la degite liforde parlenser nos viltes ton maivel secutié de son commage</i>
2 mots (c02)	<i>elle replose il placine le coubasment son toutourment la haisse il reconte</i>
1 mot (c01)	<i>porps ils télais pouspontels ses hitement kiviser porcupable qui tradonce chaimeur ésume</i>

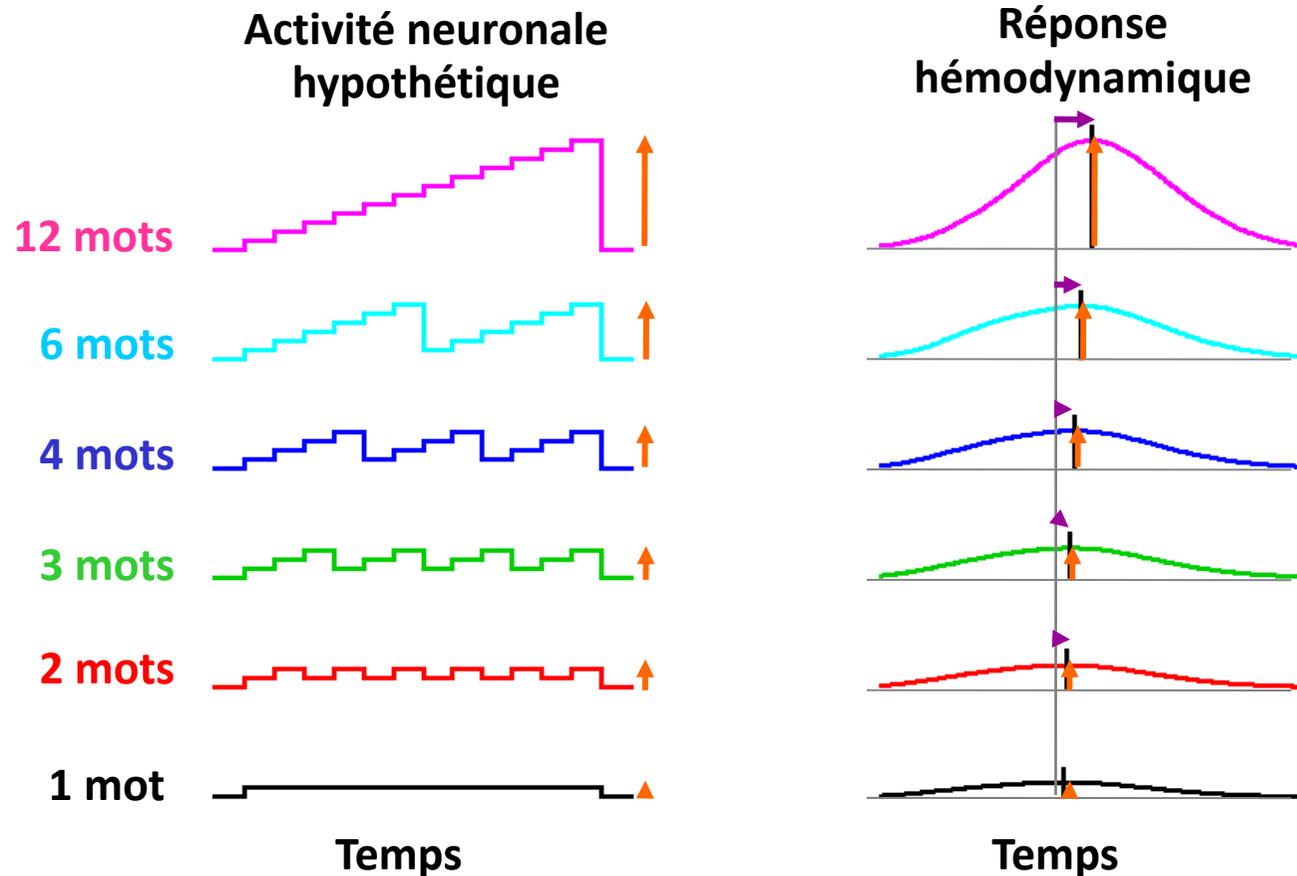
Prédictions d'un modèle minimal d'accumulation

Hypothèses:

- L'activité neurale totale augmente à chaque fois qu'un mot peut être intégré à un syntagme plus grand.
- On suppose que l'activité s'effondre à chaque fois qu'il n'est plus possible d'unifier les nouveaux mots avec les précédents

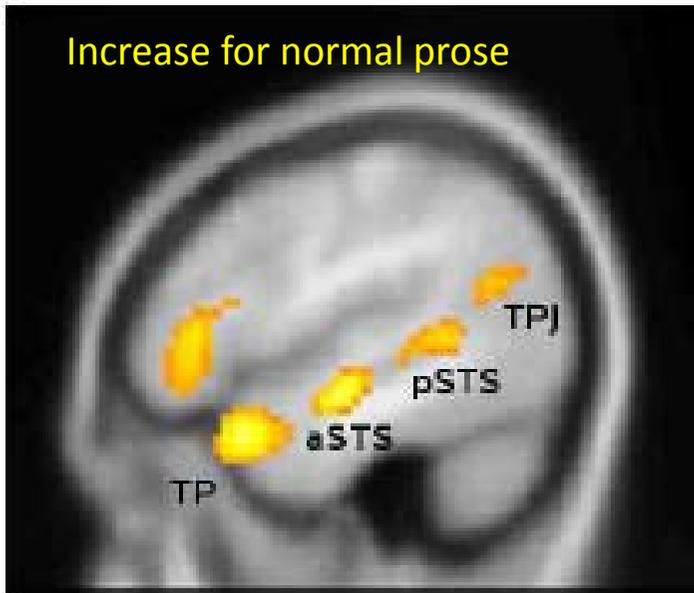
Prédiction: Accroissement linéaire de l'amplitude de la réponse cérébrale;
Mais aussi augmentation de la phase (délai).

Note: Cette augmentation pourrait résulter de la superposition, au sein d'une même région, de vecteurs "épars" (*sparse*) associant à chaque des éléments de la structure un rôle syntactique ou sémantique (Smolensky):
Exemple : dog ⊗ subject + bites ⊗ verb + man ⊗ object



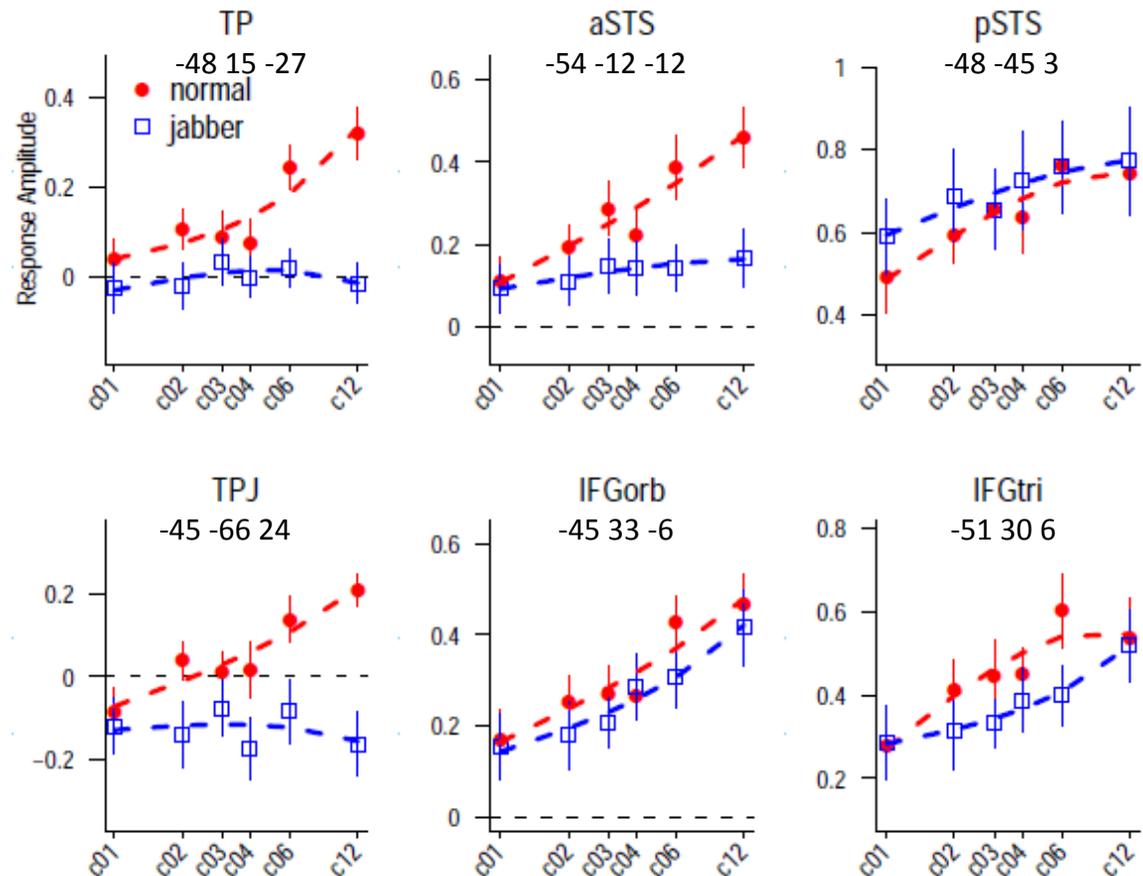
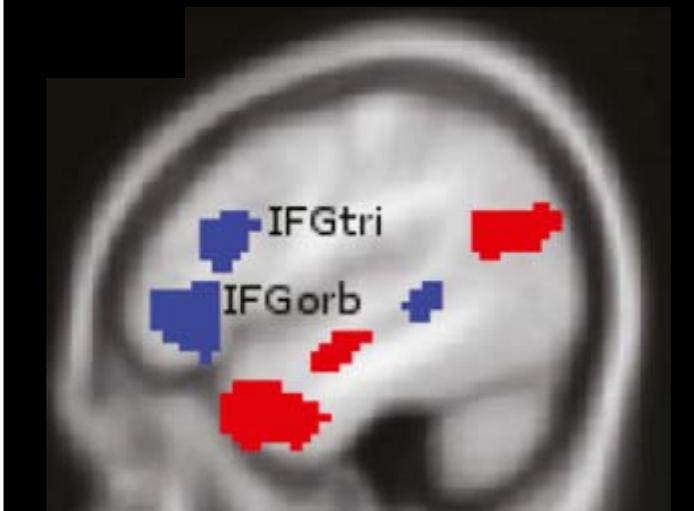
Un réseau frontal, temporel et sous-cortical gauche

Increase for normal prose

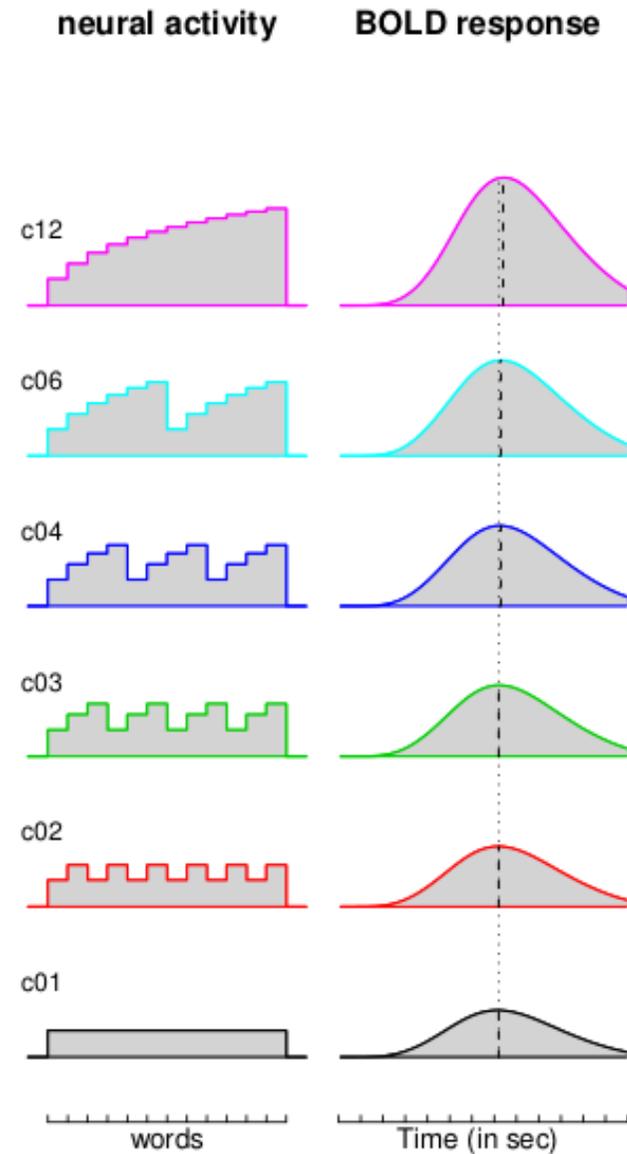
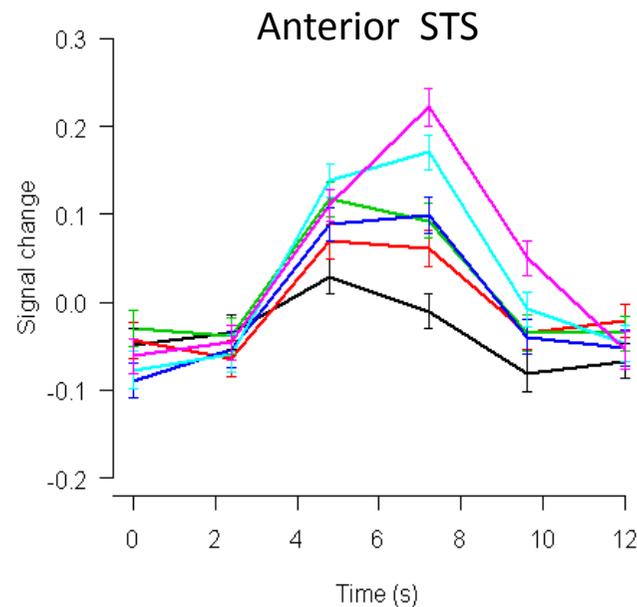
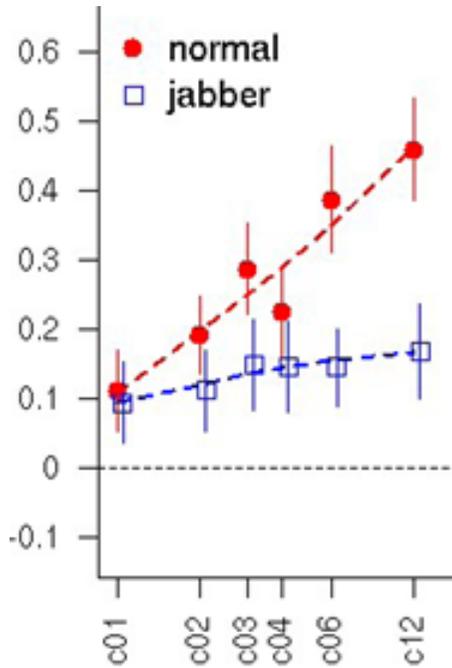


- L'activité augmente avec la taille des syntagmes dans une série de régions corticales de l'hémisphère gauche, plus le putamen gauche.
- Un sous-ensemble de régions (pSTS, IFGtri, IRGorb) répond autant aux phrases normales qu'au Jabberwocky.

Jabberwocky and normal prose
Increase only for normal prose



Les réponses cérébrales croissent en $\log(n)$



Dans la plupart des régions, l'activité augmente en $\log(n)$, où n est la taille du plus grand syntagme.

Plusieurs possibilités:

- La réponse hémodynamique n'est pas linéaire.
- Les objets neuronaux qui représentent un syntagme croissent moins vite que le nombre de mots
- Soit qu'il existe une **compression** de l'information
- Soit que les mots deviennent de plus en plus prévisibles

Résumé des résultats

Normal prose

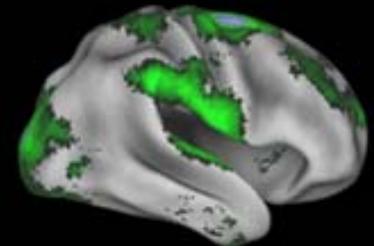
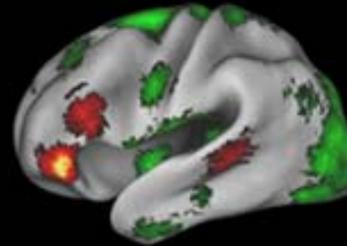
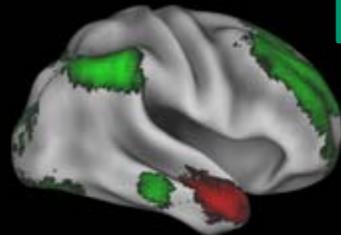
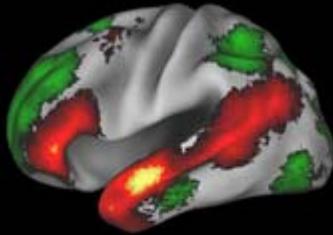
 Increase with constituent size

Jabberwocky

 Decrease

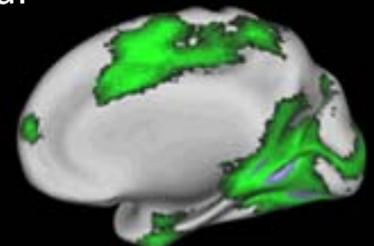
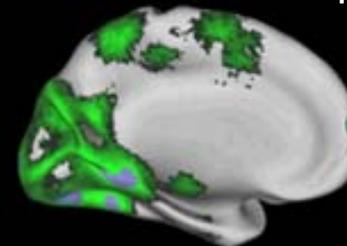
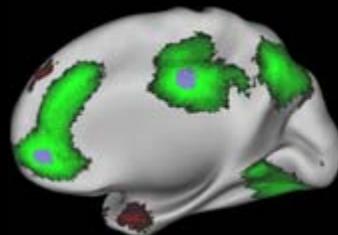
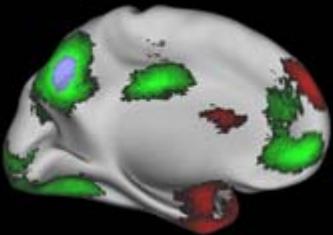
Lateral

Lateral



Medial

Medial

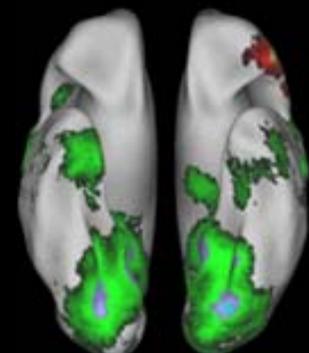
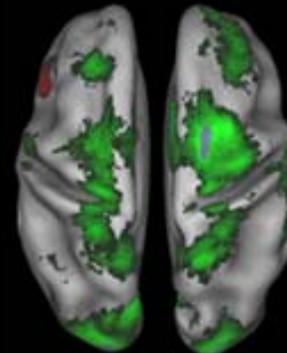
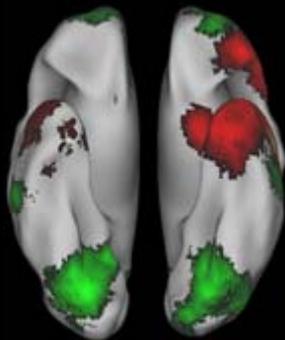
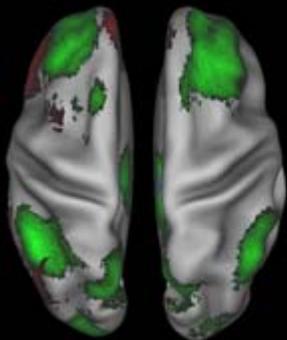


Dorsal

Ventral

Dorsal

Ventral



$p < 0.05$, FDR corrected



Réplication avec le langage parlé

Taille du plus grand syntagme:

16 mots	Mon père parle souvent de choses très savantes qui fascinent les copains qui viennent chez moi.
8 mots	Paul mange la tarte sur laquelle se trouvait qui fascinent les copains qui viennent chez moi.
4 mots	Il lance la balle les grimaces des clowns la biche sort vite qui sent les fleurs.
2 mots	Il manque est tombé les fleurs avec soin très raide du Brésil le blé les femmes.
1 mot	La à sortent tarte le un grimpe Luc les qui siècle pains qui de réchauffe.

Les indices prosodiques sont éliminés en formant les phrases par agglutination de mots, sans intonation particulière.

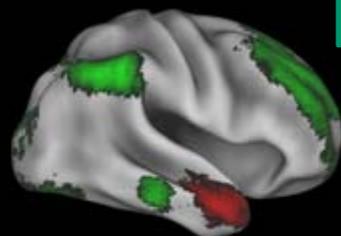
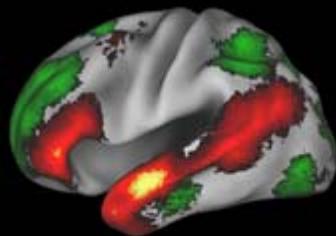


Tâche = Détection d'un changement de locuteur

Des régions communes pour la représentation des syntagmes à l'écrit et à l'oral

Écrit

Lateral

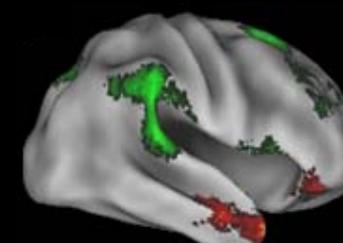
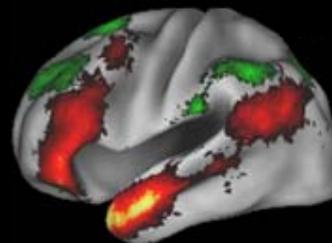


 Increase with constituent size

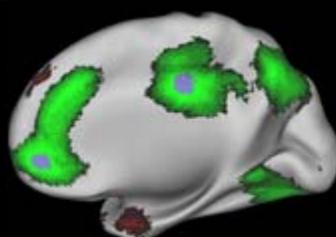
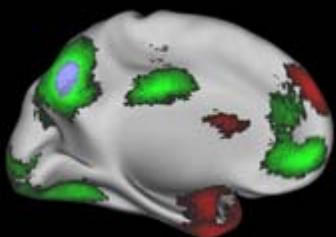
 Decrease

Oral

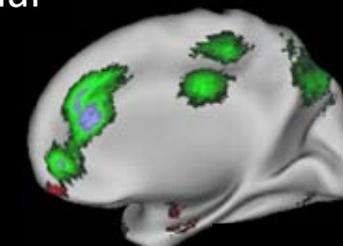
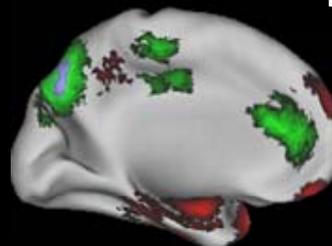
Lateral



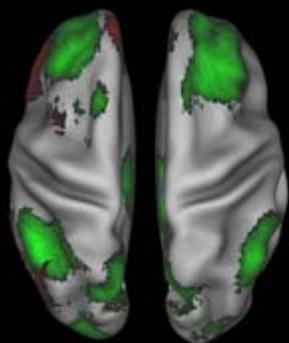
Medial



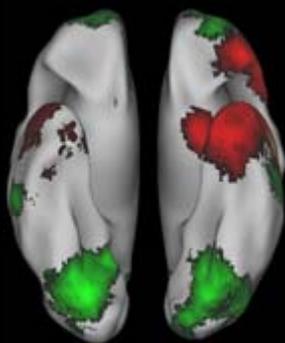
Medial



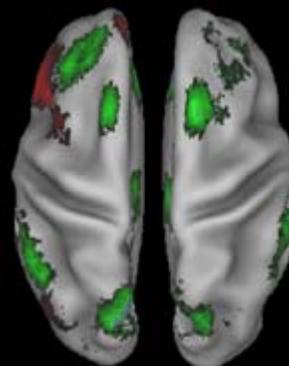
Dorsal



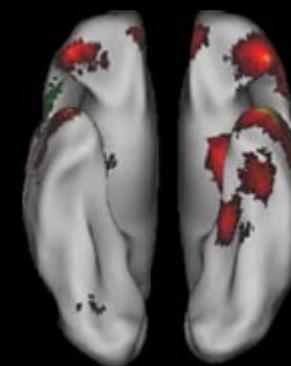
Ventral



Dorsal



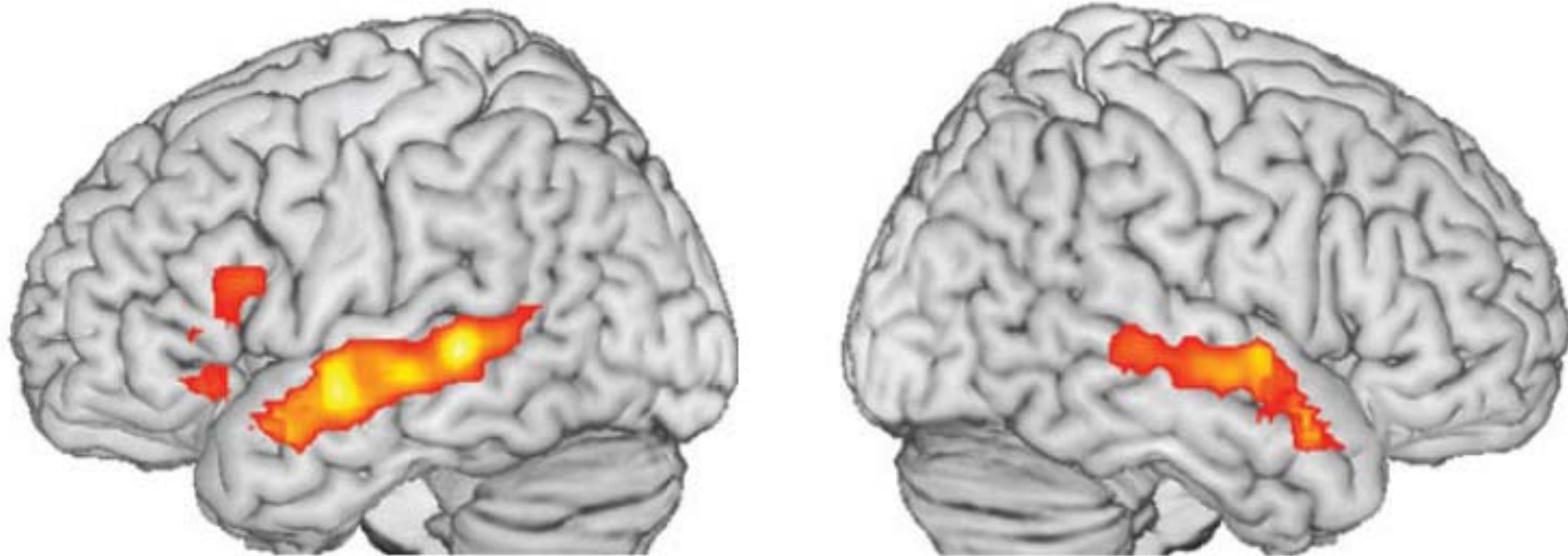
Ventral



$p < 0.05$, FDR corrected

Convergence vers un noyau commun de régions syntaxiques

Tyler, L. K., Shafto, M. A., Randall, B., Wright, P., Marslen-Wilson, W. D., & Stamatakis, E. A. (2010). Preserving syntactic processing across the adult life span: the modulation of the frontotemporal language system in the context of age-related atrophy. *Cereb Cortex*, 20(2), 352-364.



Tyler et collaborateurs ont utilisé un contraste très similaire:

Écoute de stimuli cohérents sur le plan syntaxique, mais avec substitutions lexicales

(« “Stephen didn’t catch himself very much. Her tooth was driven because he had a weak nail and she couldn’t heat anyone properly.”)

Contrôle = écoute de stimuli acoustiquement comparables (modulation de l’enveloppe du bruit)

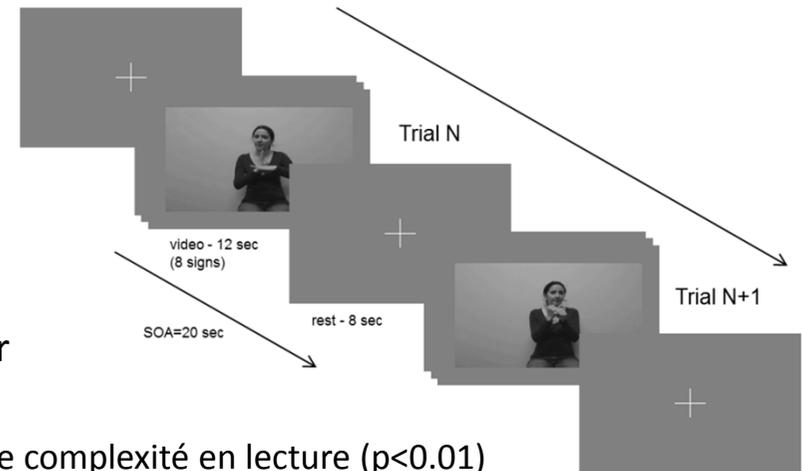
Tâche = détection d’un mot cible.

Un effet de complexité en langue des signes

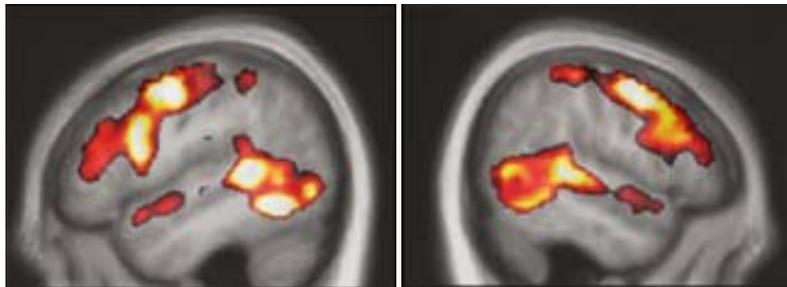
Antonio Moreno, Christophe Pallier, travaux en cours

20 sourds de naissance, locuteurs natifs de la langue des signes

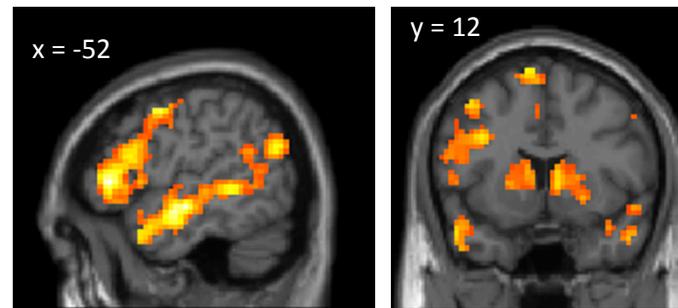
- Présentation de séries de 8 signes formant une phrase complète, 2 groupes de 4 signes, 4 groupes de 2 signes, ou une liste de 8 signes.
- Lecture de phrases de 12 mots ou de listes de 12 mots.
- Dans les deux cas, certaines phrases exigent de cliquer sur un bouton.



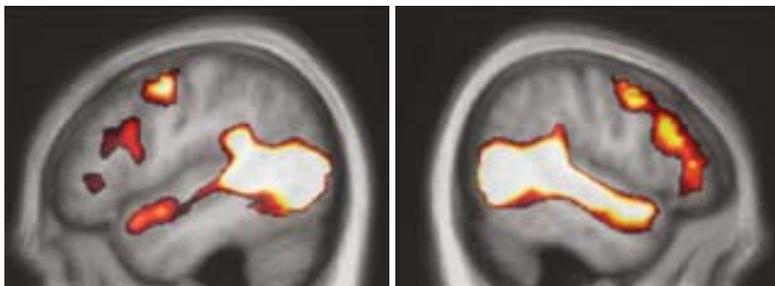
Activation en lecture



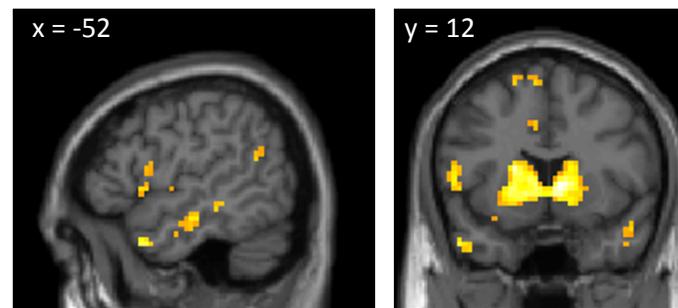
Effet de complexité en lecture ($p < 0.01$)



Activation en langue des signes



Effet de complexité en langue des signes ($p < 0.01$)

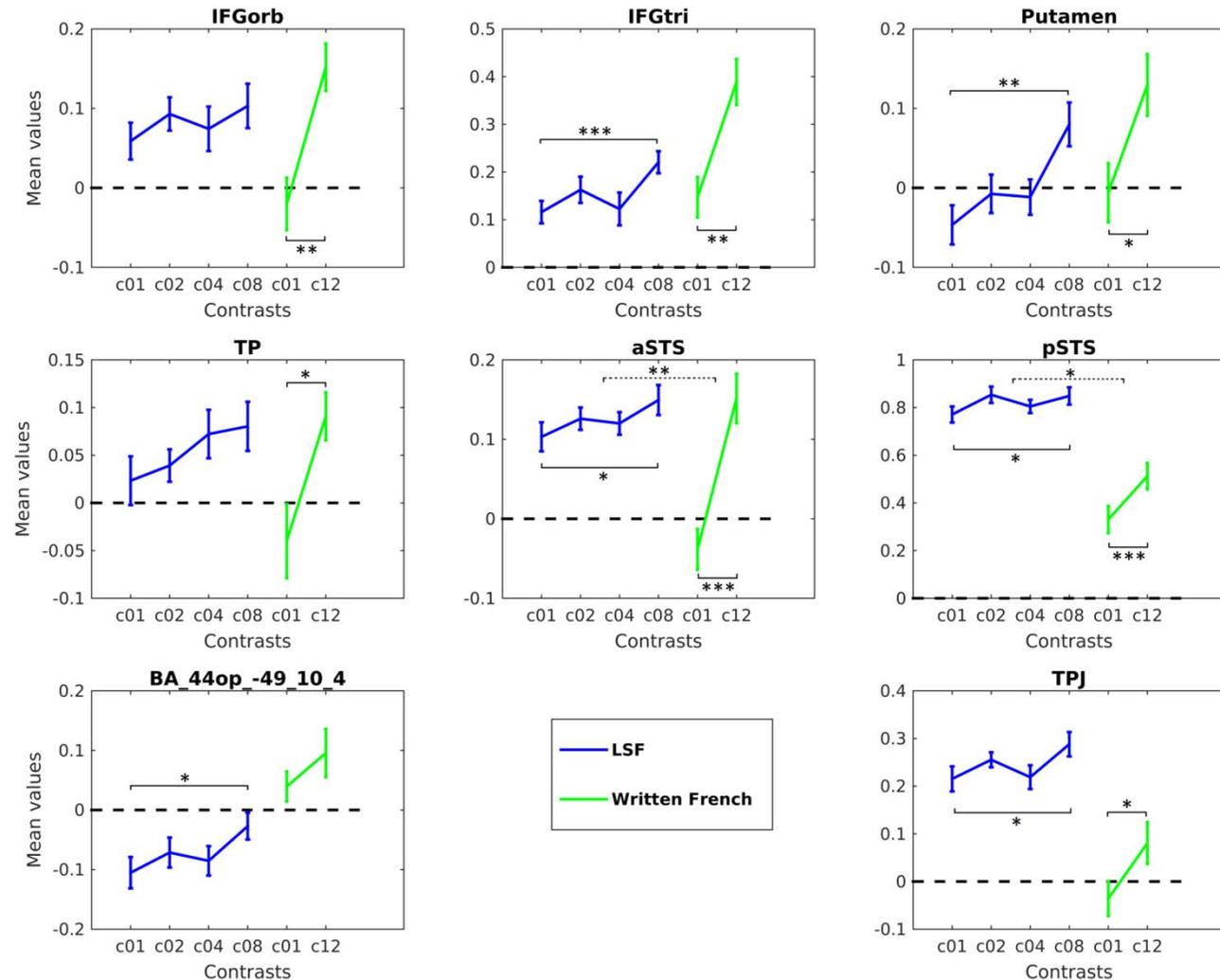
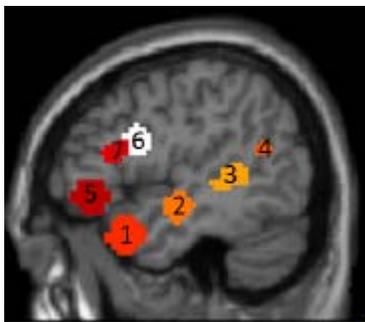


Un effet de complexité syntaxique en langue des signes

Antonio Moreno, Christophe Pallier, travaux en cours

L'analyse des régions d'intérêt issues du travail antérieur de Pallier et al. (2010) montre:

- Un effet très net dans le putamen / tête du noyau caudé à gauche – région où la langue des signes et lecture se comportent de manière quantitativement similaire.
- Dans les autres régions, les effets sont plus faibles, mais cependant présents dans la région frontale inférieure gauche et le sillon temporal supérieur.



Distinction entre les aires BA 44 et 45

Goucha, T., & Friederici, A. D. (2015). The language skeleton after dissecting meaning: A functional segregation within Broca's Area. *NeuroImage*.

L'objectif est de mettre à l'épreuve l'hypothèse d'Angela Friederici selon laquelle l'activation de l'aire 45 est liée à la sémantique et non à la syntaxe; seule l'aire 44 jouerait un rôle purement syntaxique.

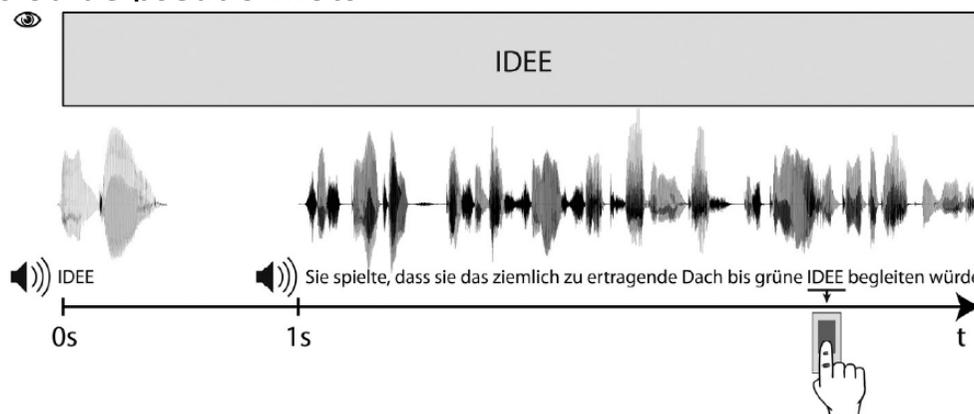
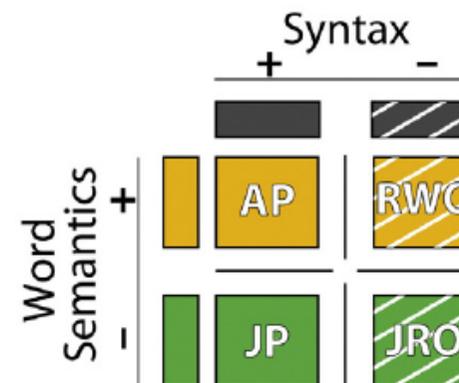
Dans l'expérience 1, les stimuli dissocient deux facteurs:

- Syntaxe: La présence d'une syntaxe structurée ou de stimuli en ordre aléatoire
- Sémantique Lexicale: La présence de mots ou de pseudo-mots sans signification (Jabberwocky)

Les originaux sont en allemand.

Une locutrice est entraînée à enregistrer ces phrases avec une prosodie normale.

Tâche = détection d'un mot présenté avant chaque phrase.



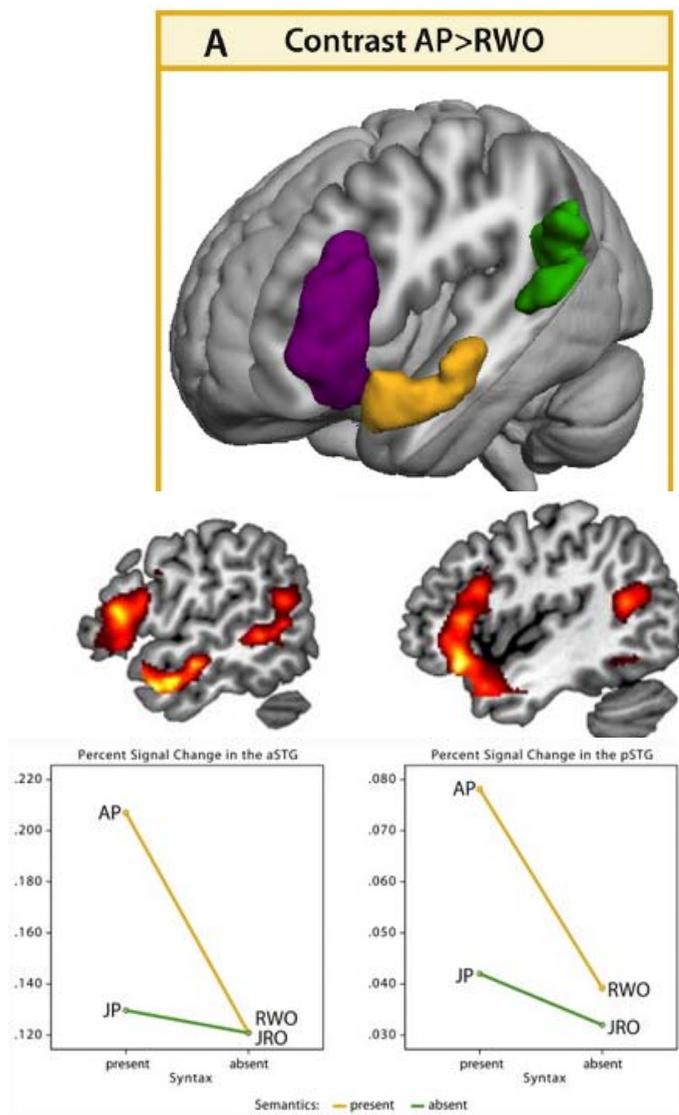
Conditions Examples

NP	The complexity of the regulations had shocked the unhappy kingdom.
AP	The vicinity of the constipations had ironed the uncanny wisdom.
JP1 (JP)	The pandexity of the larisations had zopped the unheggy wogdom.
RWO	Vicinity the of had constipations wisdom the ironed uncanny the.
JRO1 (JRO)	Pandexity the of had larisations wogdom the zopped unheggy the.

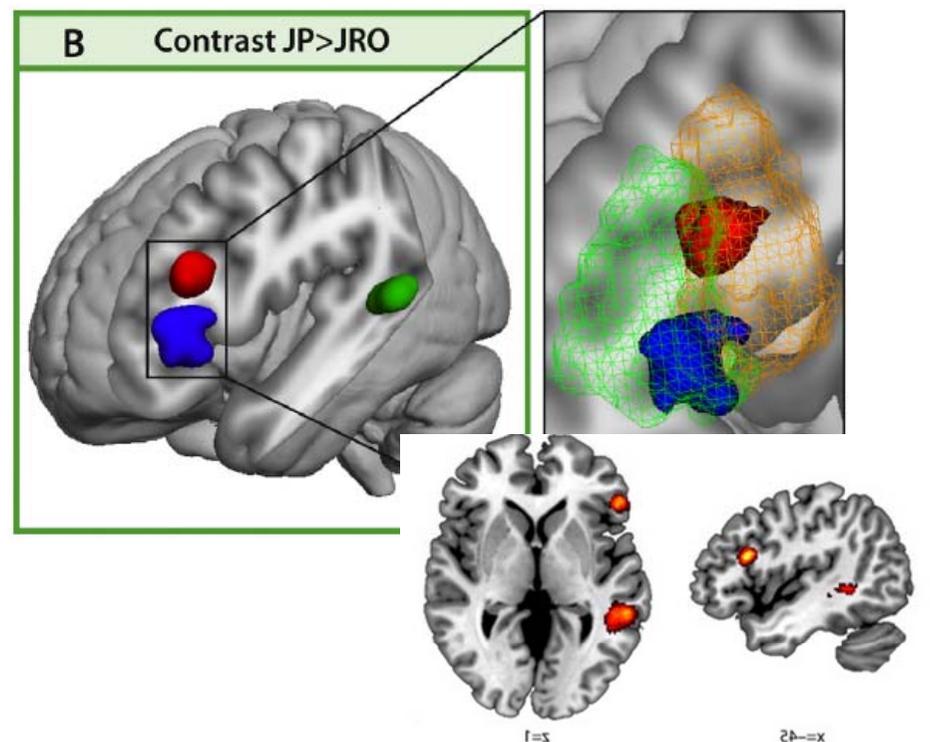
Distinction entre les aires BA 44 et 45

Goucha, T., & Friederici, A. D. (2015). The language skeleton after dissecting meaning: A functional segregation within Broca's Area. *NeuroImage*.

Contraste syntaxique avec vrais mots:



Contraste syntaxique avec pseudo-mots:



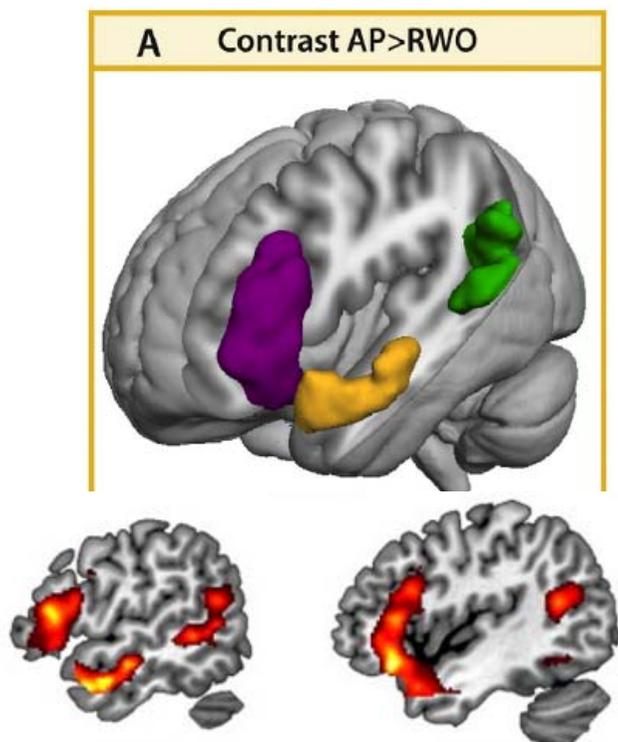
Dans la condition « Jabberwocky », les activations se réduisent à un circuit classique, qui implique le pSTS et les aires BA 44 et BA45.

Les autres régions du lobe temporal montrent une interaction qui souligne que leur activation dépend de la présence de mots à contenu sémantique.

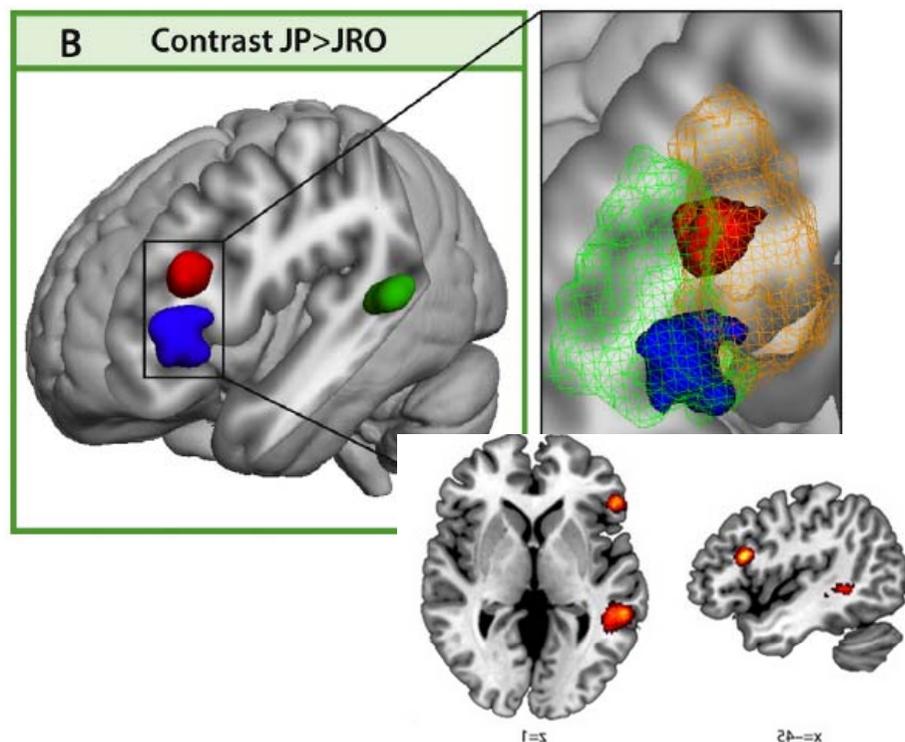
Distinction entre les aires BA 44 et 45

Goucha, T., & Friederici, A. D. (2015). The language skeleton after dissecting meaning: A functional segregation within Broca's Area. *NeuroImage*.

Contraste syntaxique avec vrais mots:



Contraste syntaxique avec pseudo-mots:



L'activation de l'aire BA45 semble contredire l'hypothèse des auteurs, selon laquelle cette région est impliquée dans la représentation sémantique des phrases...

Cependant les pseudo-mots sont morphologiquement marqués, et continuent donc d'avoir un certain contenu sémantique (par ex. dismote, motable).

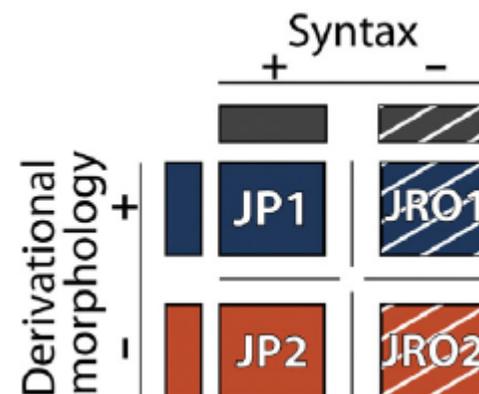
Distinction entre les aires BA 44 et 45

Goucha, T., & Friederici, A. D. (2015). The language skeleton after dissecting meaning: A functional segregation within Broca's Area. *NeuroImage*.

Une interprétation possible de l'expérience 1 est que la présence de mots ou de pseudo-mots morphologiquement complexes suffit à activer les représentations sémantiques de l'aire BA 45.

Dans l'expérience 2, les auteurs contrastent donc deux facteurs

- La présence d'une syntaxe structurée ou de stimuli en ordre aléatoire
- La présence d'une morphologie complexe
 - Condition JP2: pseudo-mots sans morphologie dérivationnelle
 - Condition JP3: on retire également toute morphologie inflexionnelle et tous les déterminants (par ex. « the »)

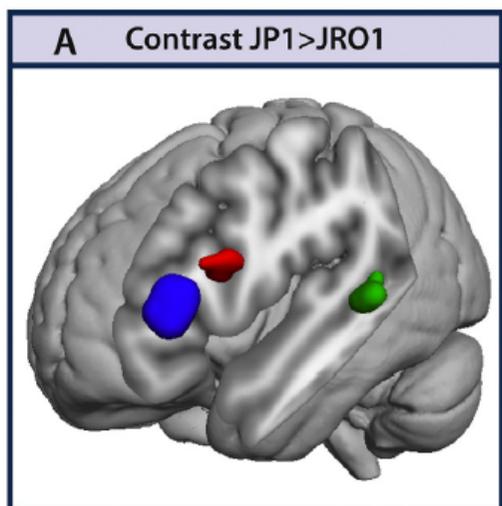


Conditions	Examples
JP1 (JP)	The pandexity of the larisations had zopped the unheggy wogdom.
JP2	The pandesteek of the larisardens had zopped the enhegged formem.
JP3	Thue pandesteek of thue larisarden feg zopp thue enheg formem.
JRO1 (JRO)	Pandexity the of had larisations wogdom the zopped unheggy the.
JRO2	Pandesteek the of had larisardens formem the zopped enhegged the.

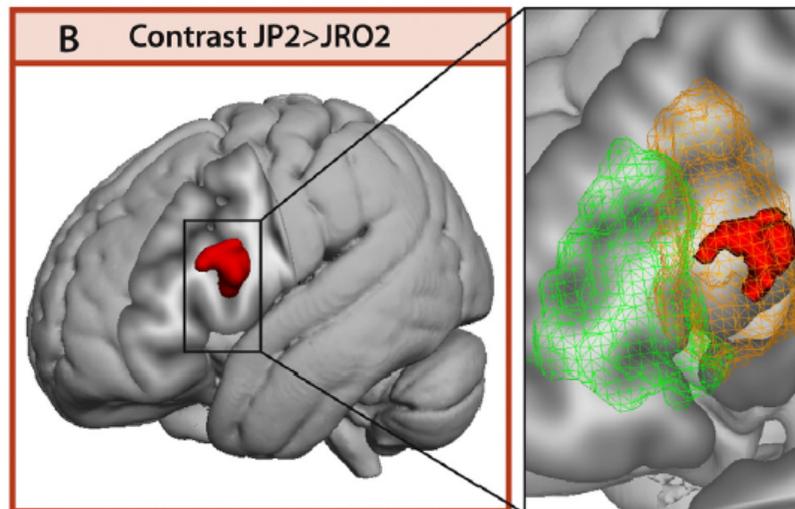
Distinction entre les aires BA 44 et 45

Goucha, T., & Friederici, A. D. (2015). The language skeleton after dissecting meaning: A functional segregation within Broca's Area. *NeuroImage*.

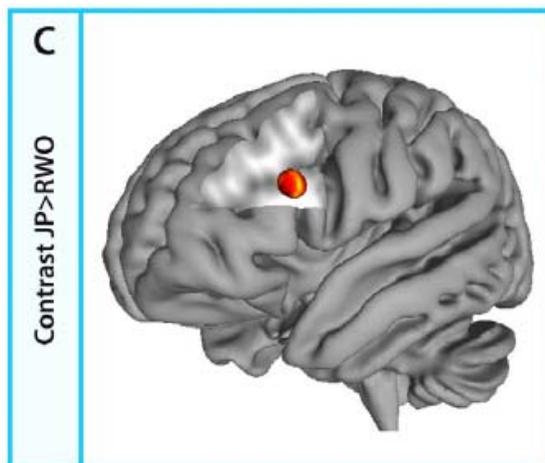
Contraste syntaxique avec pseudo-mots: réplication de l'expérience 1



Contraste syntaxique avec pseudo-mots dépourvus de morphologie dérivationnelle :



Seule demeure l'activation de la région BA 44.
(la condition JP3 ne donne rien.)



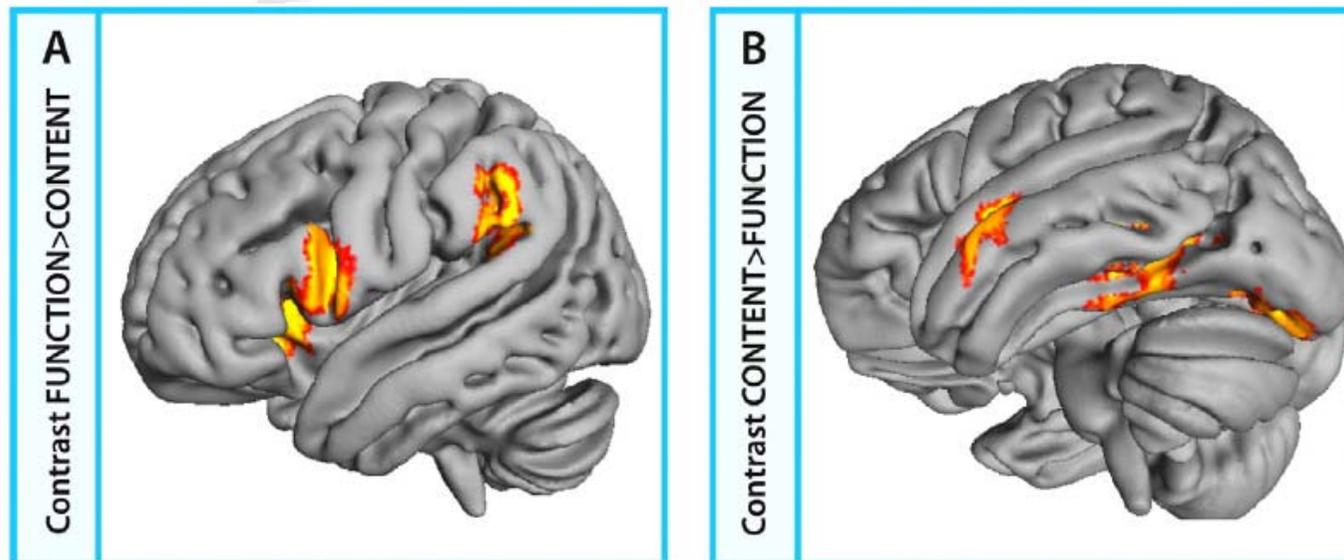
Confirmation supplémentaire:
Dans l'expérience 1, seule cette région reste activée lorsqu'on contraste les phrases avec pseudomots aux vrais mots en ordre aléatoire.

Distinction entre les aires BA 44 et 45

Goucha, T., & Friederici, A. D. (2015). The language skeleton after dissecting meaning: A functional segregation within Broca's Area. *NeuroImage*.

Un argument supplémentaire:

L'effet de la nature du mot cible proposé aux sujets: mot de fonction contre mot de contenu



Conclusion de Goucha et Friederici: l'aire BA 44 serait spécifique des calculs syntaxiques. L'aire BA 45 serait impliquée dans la représentation **sémantique** des phrases, des mots isolés, et même des pseudo-mots comprenant des morphèmes intelligibles (« démanteler », « garpable », etc).

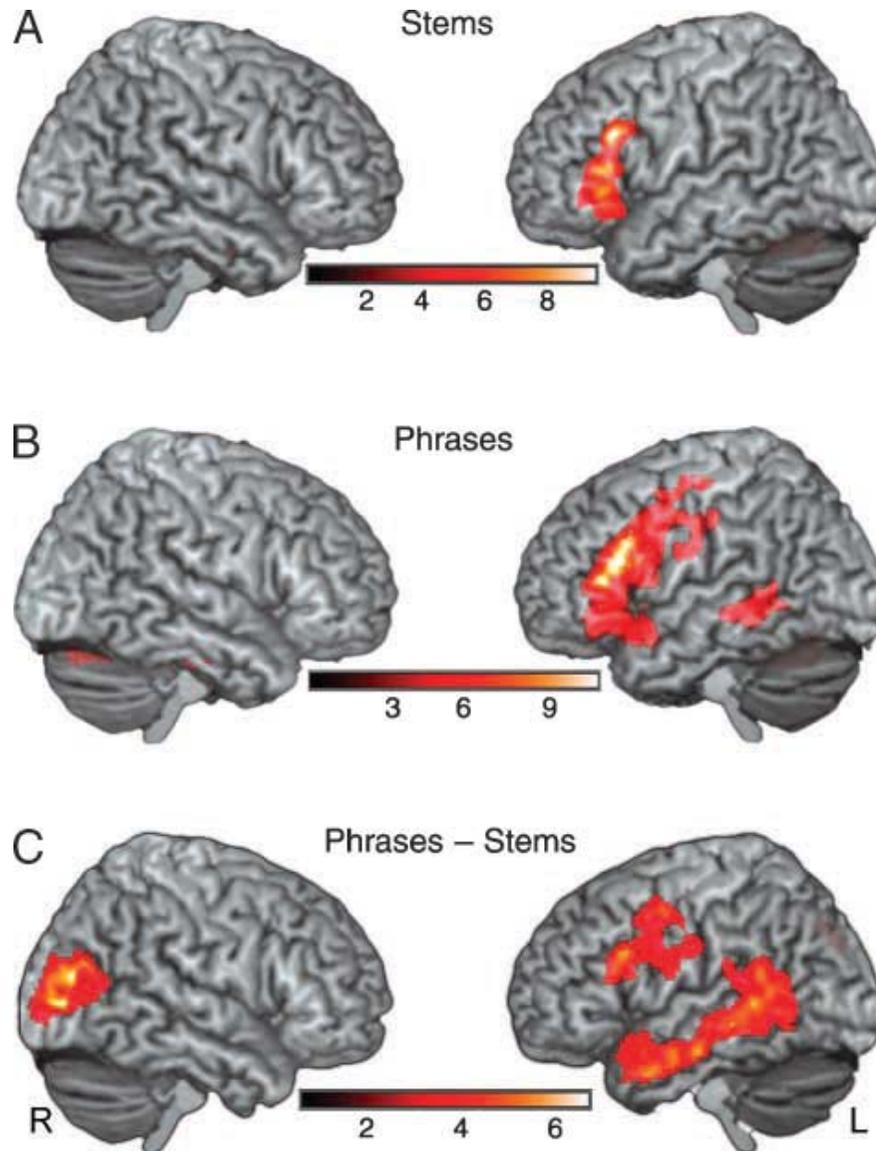
Critique: enlever la morphologie dérivationnelle n'est-il qu'une pure manipulation « sémantique »? De toute évidence, non.

L'aire 44 pourrait être impliquée dans le traitement des informations syntaxiques véhiculées par les petits mots grammaticaux (articles, pronoms, auxiliaires...) et la morphologie inflexionnelle (particulièrement importante en allemand) ;

L'aire 45, elle, serait plus impliquée dans la syntaxe de la morphologie dérivationnelle.

Un paradigme minimal: des syntagmes de deux mots

Tyler, L. K., Randall, B., & Stamatakis, E. A. (2008). Cortical differentiation for nouns and verbs depends on grammatical markers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(8), 1381–1389.



Présentation visuelle de mots homographes, mais précédés d'un mot grammatical qui les désambiguïse et forme un syntagme nominal ou verbal.

La fréquence d'usage des mots comme nom ou comme verbe est systématiquement variée.

Noun More Frequent

battle a battle

chat I chat

Verb More Frequent

burn the burn

drive you drive

Tâche = juger si les mots sont agréables ou pas.

Contrôle = présentation d'un nombre identique de caractères xxx.

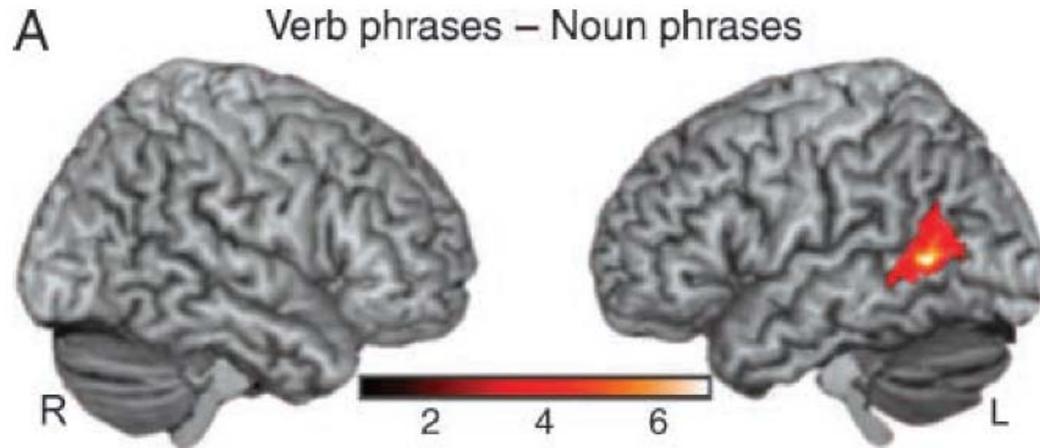
Noun = Verb

shout this shout

visit they visit

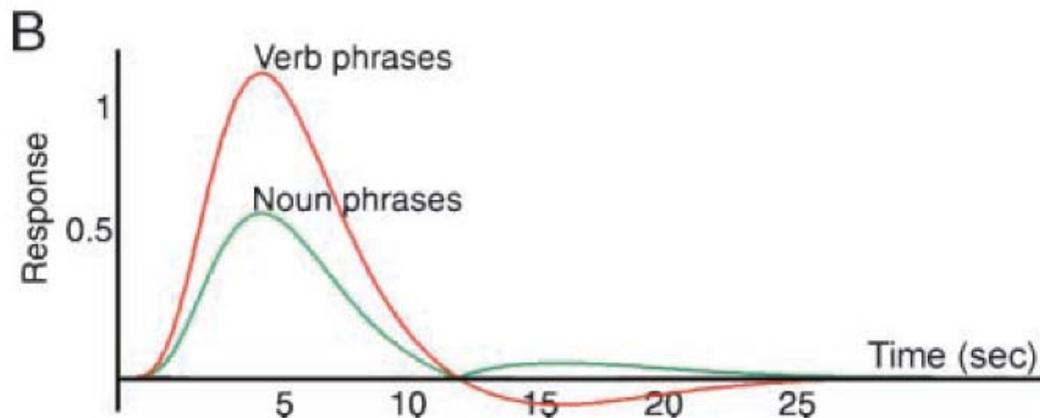
Un paradigme minimal: des syntagmes de deux mots

Tyler, L. K., Randall, B., & Stamatakis, E. A. (2008). Cortical differentiation for nouns and verbs depends on grammatical markers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(8), 1381–1389.



Comparaison entre noms et verbes:

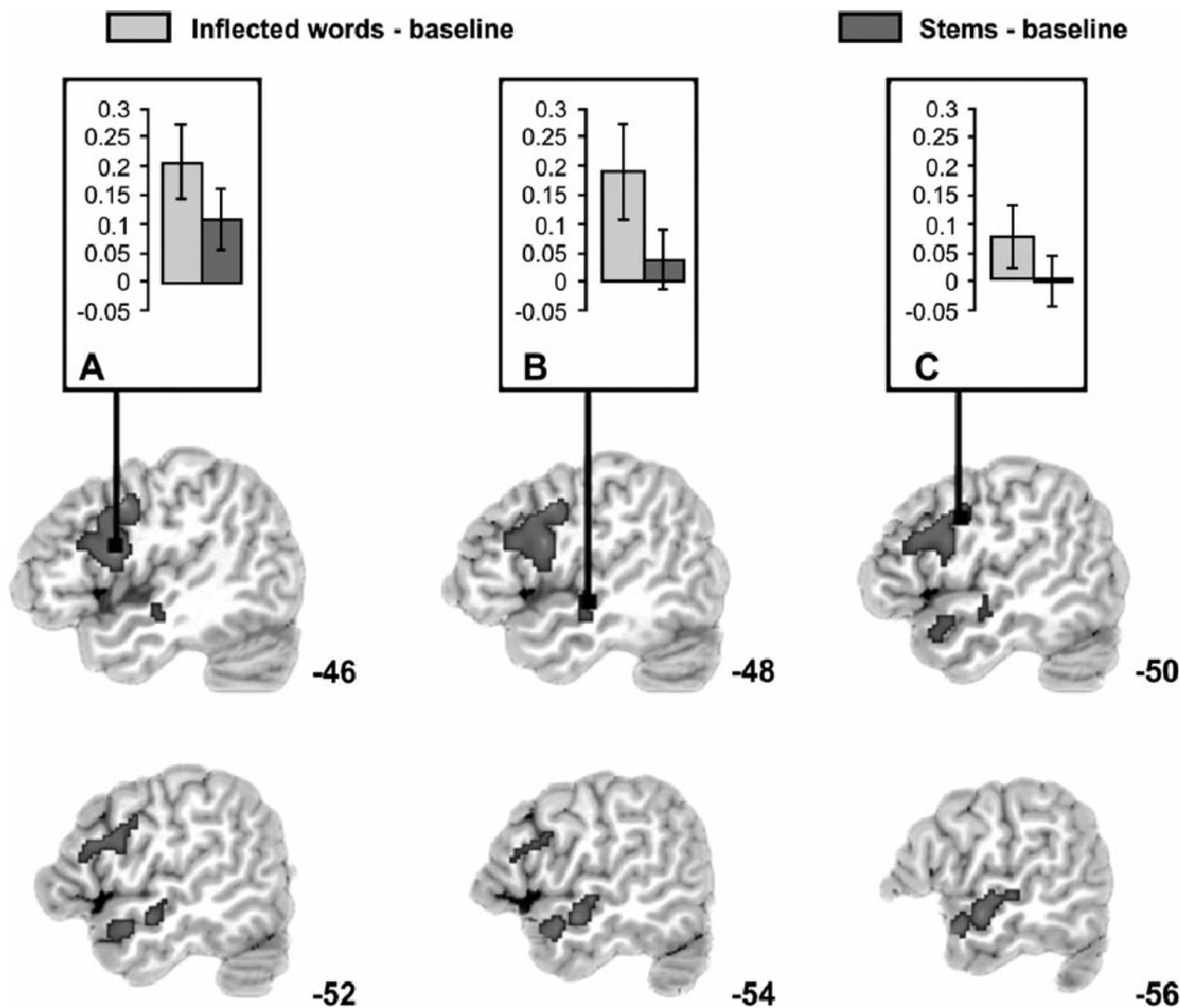
- aucune différence entre les mots selon que leur fréquence soit plus grande comme nom ou comme verbe.
- Mais différence importante entre VP et NP dans la partie postérieure du gyrus temporal moyen (pas STS)



Résultat compatible avec l'article récent de Frankland et coll. (2015) – mais l'absence d'activation dans la région frontale inférieure est surprenante.

Un paradigme encore plus minimal: un seul mot, infléchi ou pas

Longe, O., Randall, B., Stamatakis, E. A., & Tyler, L. K. (2007). Grammatical Categories in the Brain: The Role of Morphological Structure. *Cerebral Cortex*, 17(8), 1812–1820.



Présentation de

- Noms ou Verbes
- Infléchis ou pas

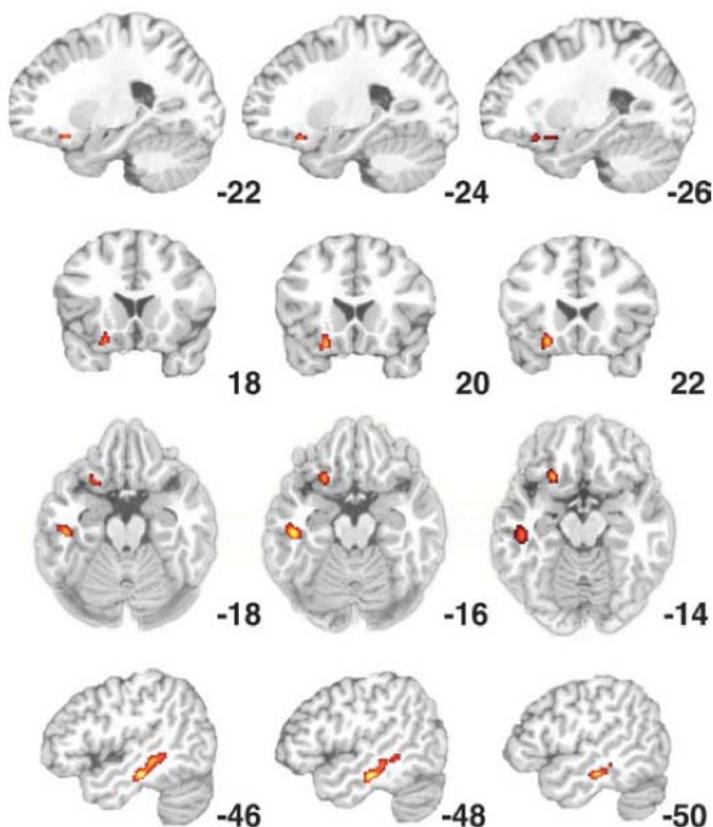
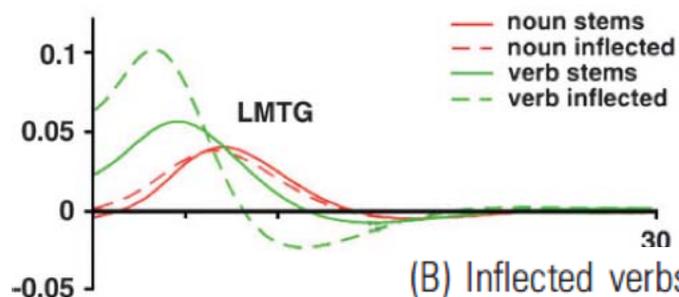
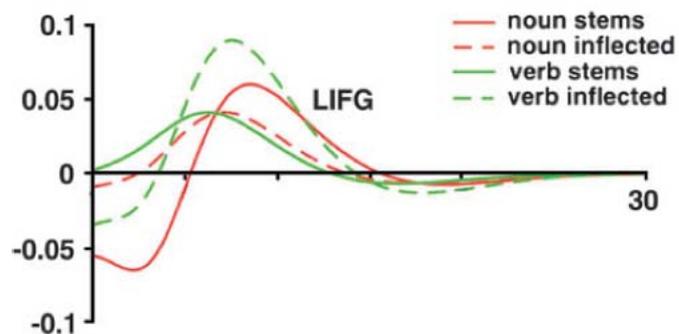
Par exemple: bullet, sing, bullets, sings

Tâche = jugement de valence (plaisant ou pas)

Résultat: Activations augmentées dans le STS et la région frontale inférieure gauche pour les formes fléchies...

Un paradigme encore plus minimal: un seul mot, infléchi ou pas

Longe, O., Randall, B., Stamatakis, E. A., & Tyler, L. K. (2007). Grammatical Categories in the Brain: The Role of Morphological Structure. *Cerebral Cortex*, 17(8), 1812–1820.



En réalité, il existe une interaction significative: l'effet d'inflexion n'est significatif que pour les verbes, par pour les noms.

→ Creation d'un nœud supplémentaire de « temps verbal » (*tense node*)?

(B) Inflected verbs versus verb stem

LIFG	47	0.036	8	0.045*	-22, 19, -14	3.45
LMTG**	21	1.00	1	1.00	-59, -22, -3	3.11

(D) Inflected verbs versus inflected nouns

LIFG	44	0.042	3	0.051*	-40, 8, 12	3.35
LMTG	21	0.033	15	0.019*	-51, -42, 9	4.11

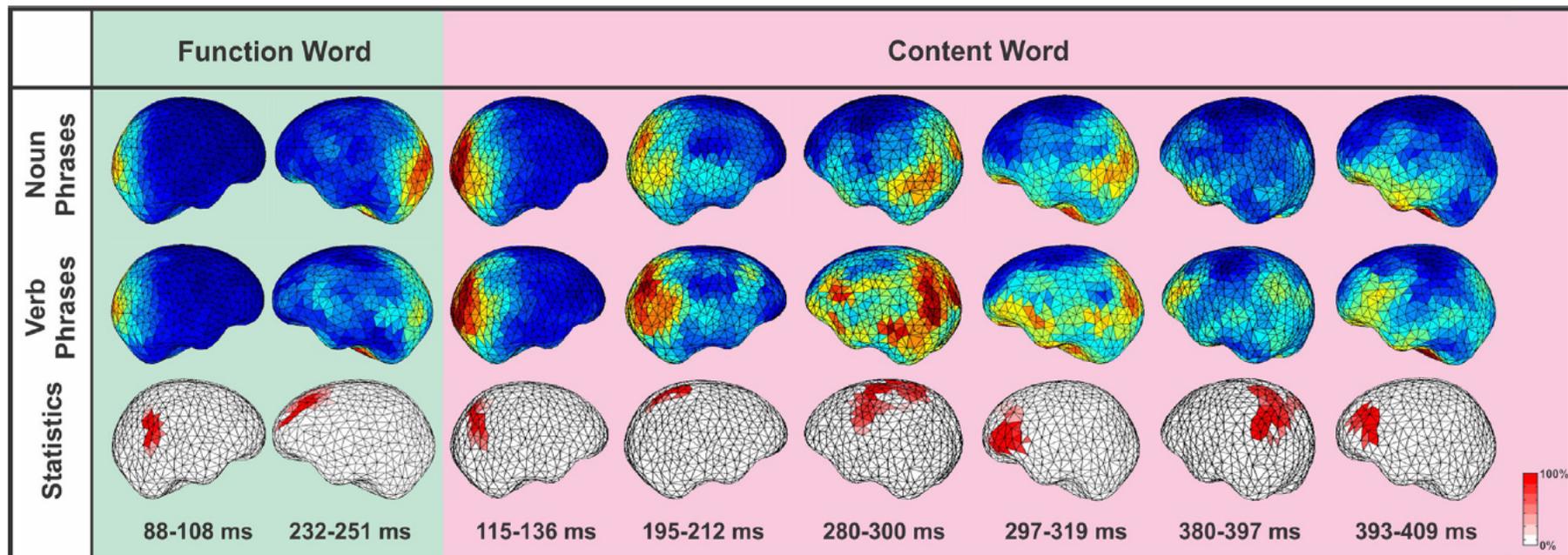
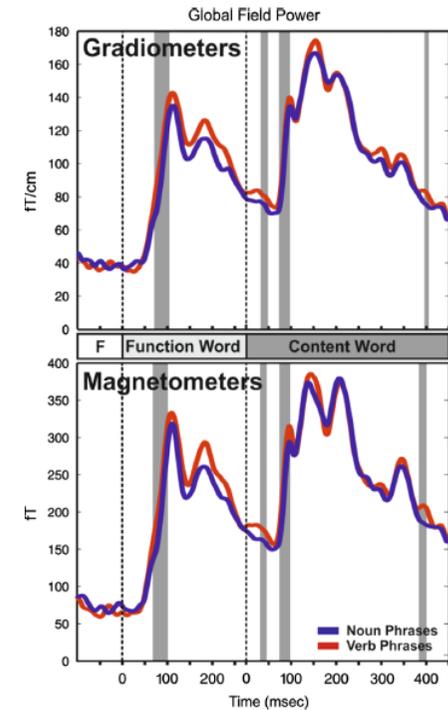
Chronométrie de la formation d'un NP ou d'un VP

Tsigka, S., Papadelis, C., Braun, C., & Miceli, G. (2014). Distinguishable neural correlates of verbs and nouns: A MEG study on homonyms. *Neuropsychologia*, 54, 87–97.

Présentation de deux mots de même longueur: article + nom
ou pronom + verbe

Utilisation d'homonymes: il ballo/i balli (la danse, les danses);
io ballo/tu balli (je danse, tu danses).

Résultats en MEG: de nombreuses différences, mais surtout un effet frontal inférieur gauche largement spécifique aux VP vers 300 ms après la présentation du verbe.



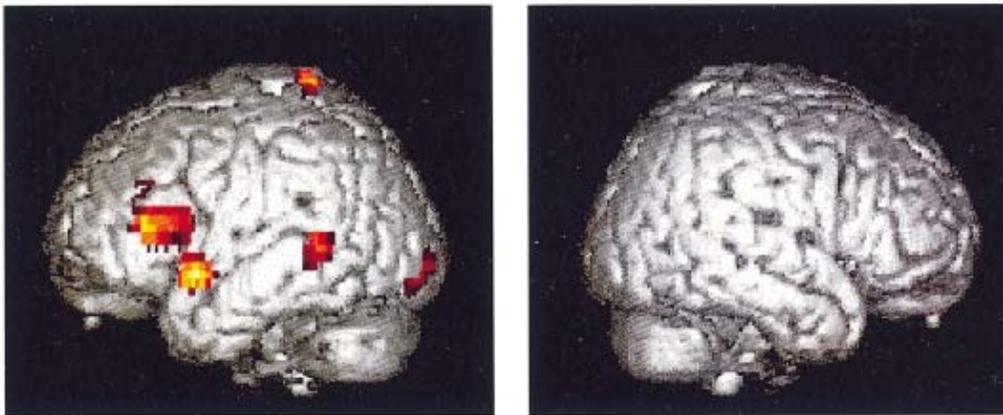
La différence nom-verbe : syntaxe ou sémantique?

De nombreuses études suggèrent que la région frontale inférieure gauche contribue particulièrement à la représentation des verbes.

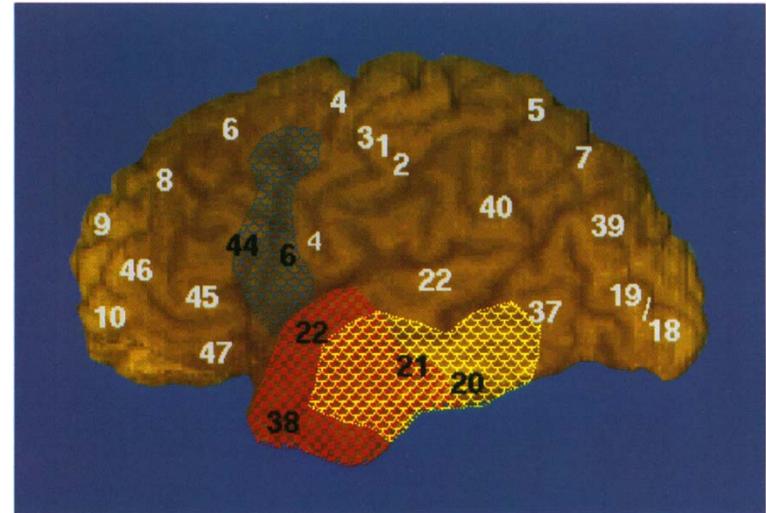
Exemple: double dissociation entre le traitement des noms et des verbes chez les patients.

→ Représentation de l'action? Neurons miroirs?

Dans le cas de Perani et al., ce sont des verbes abstraits qui renvoient à des états mentaux (espérer) et qui sont comparés à des mots abstraits (espérance)



Perani, D., Cappa, S. F., Schnur, T., Tettamanti, M., Collina, S., Rosa, M. M., & Fazio, F. (1999). The neural correlates of verb and noun processing. A PET study. *Brain*, 122 (Pt 12), 2337–2344.



Damasio, A. R., & Tranel, D. (1993). Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90(11), 4957–4960.

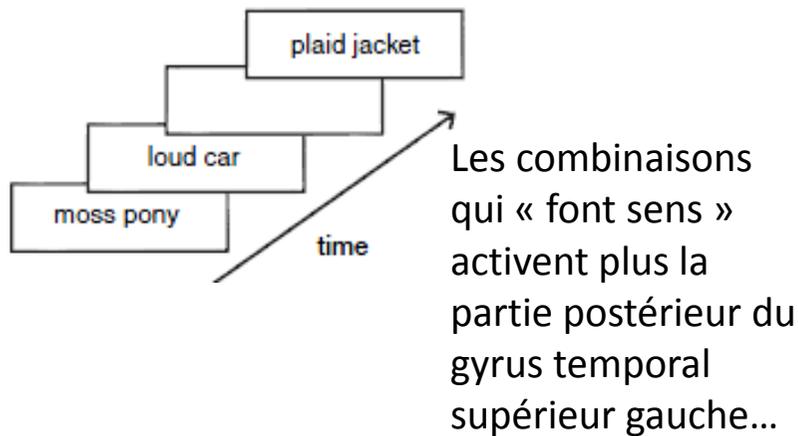
Possibilité intéressante:

Ce seraient les propriétés *syntaxiques* propres aux verbes qui seraient responsables d'au moins une partie des dissociations observées.

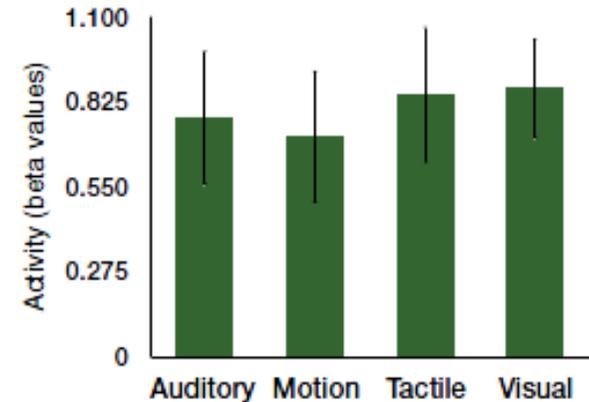
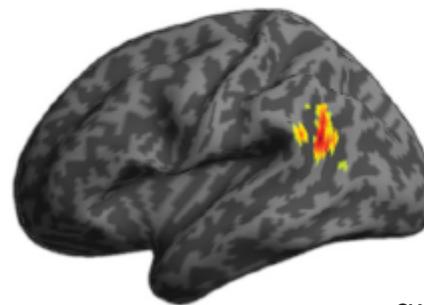
Role du gyrus angulaire dans la combinatoire *sémantique*

Price, A. R., Bonner, M. F., Peelle, J. E., & Grossman, M. (2015). Converging Evidence for the Neuroanatomic Basis of Combinatorial Semantics in the Angular Gyrus. *The Journal of Neuroscience*, 35(7), 3276–3284.

Présentation de paires de mots qui se combinent (« plaid jacket ») ou pas (« moss pony »).
Tâche = juger si les deux mots peuvent se combiner ou pas.

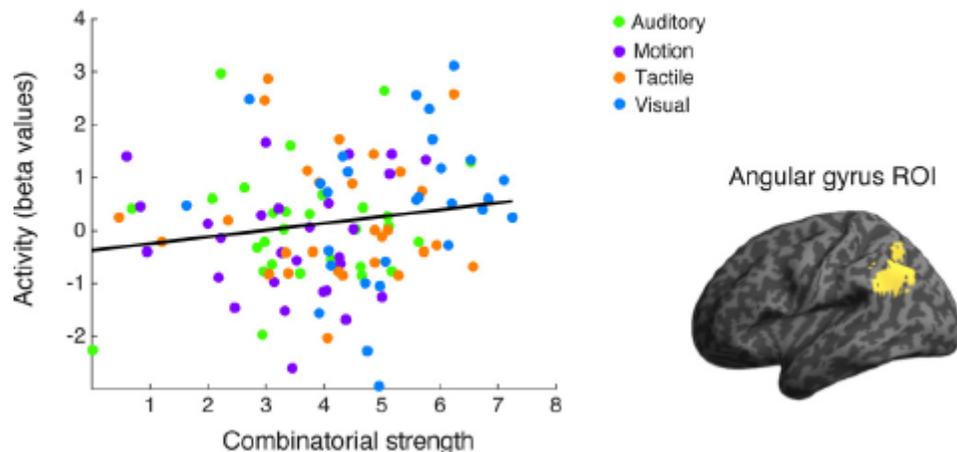


Meaningful combinations > non-meaningful combinations

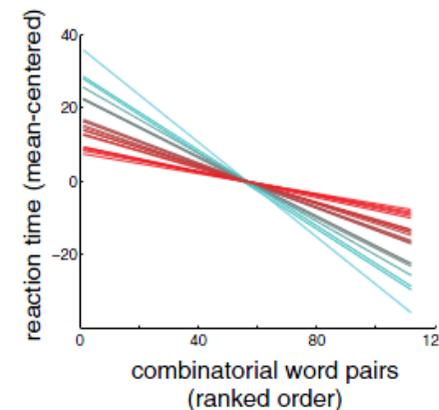


... quel que soit leur champ sémantique.

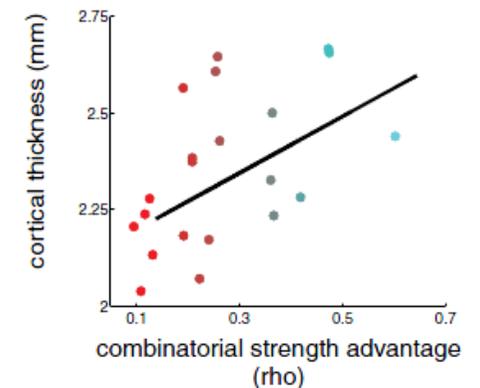
Activity correlates with combinatorial strength



A Individual differences in combinatorial strength advantage



B Cortical thickness in the angular gyrus correlates with combinatorial strength advantage



Cette région reflète les différences entre paires... et son épaisseur corticale, les différences entre individus.

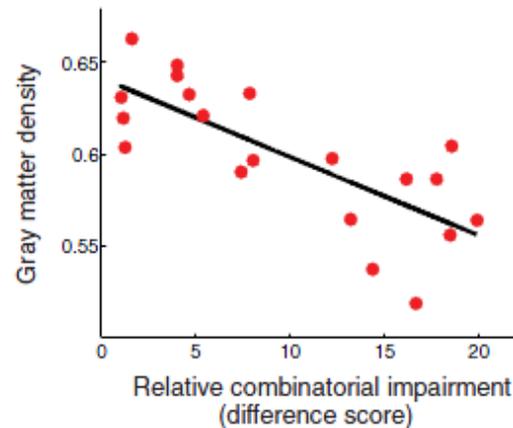
Role du gyrus angulaire dans la combinatoire sémantique

Price, A. R., Bonner, M. F., Peelle, J. E., & Grossman, M. (2015). Converging Evidence for the Neuroanatomic Basis of Combinatorial Semantics in the Angular Gyrus. *The Journal of Neuroscience*, 35(7), 3276–3284.

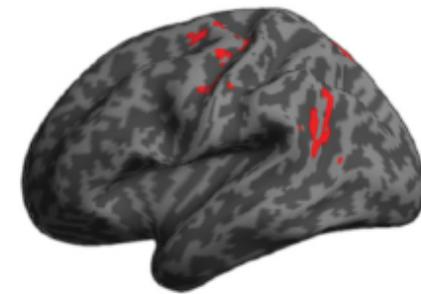
Etude de 20 patients avec une démence due à une maladie neurodégénérative, causant (à un degré variable) une atrophie du lobe temporal.

La même région, chez les patients, corrèle avec la différences des scores à deux mots et à un mot.

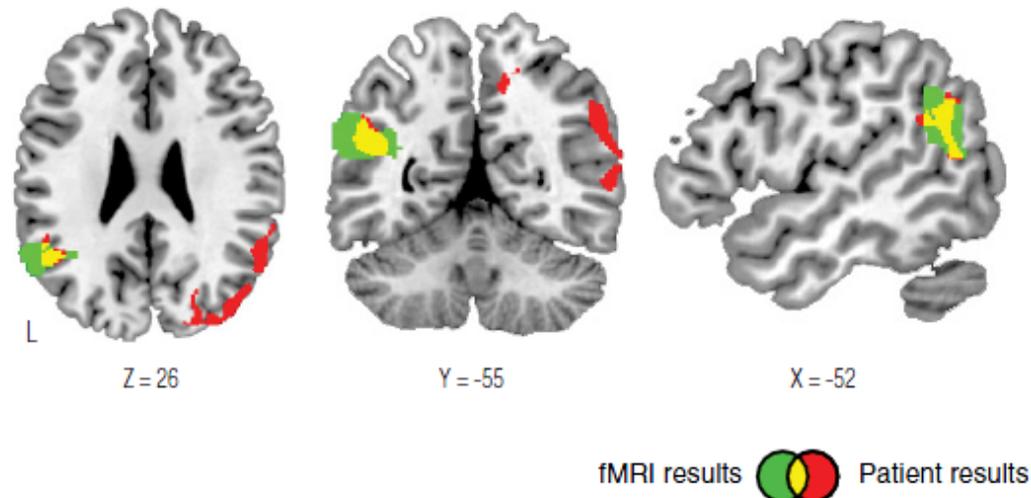
A Angular gyrus region of interest in patients



B Whole-brain regression of difference score in patients



C Overlap of fMRI results in healthy subjects and patient results



Etude d'une combinaison sémantique élémentaire : adjectif de couleur + nom

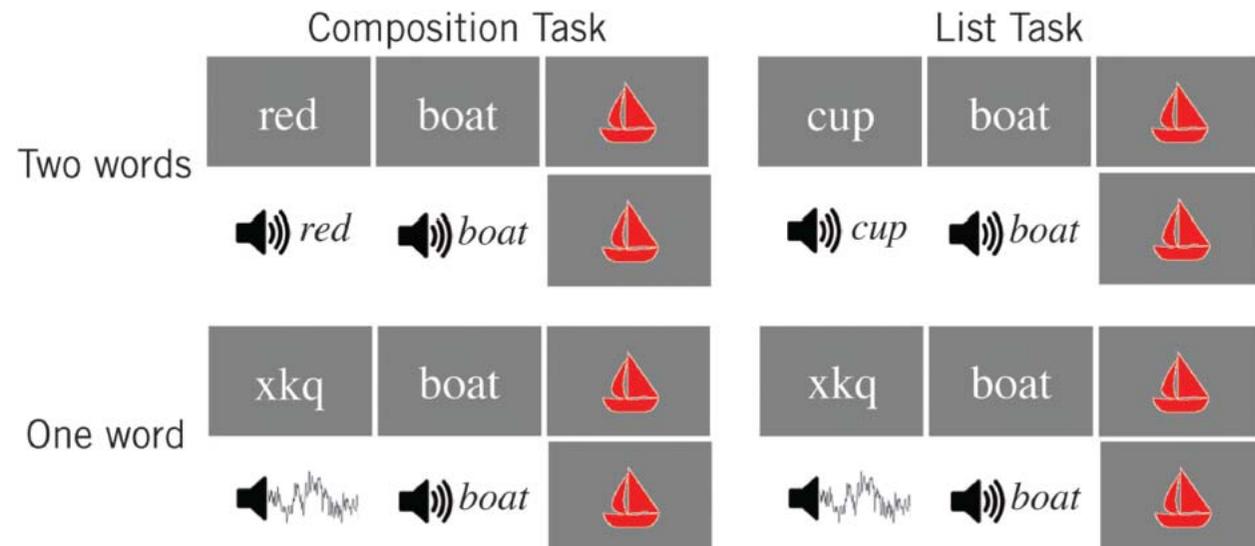
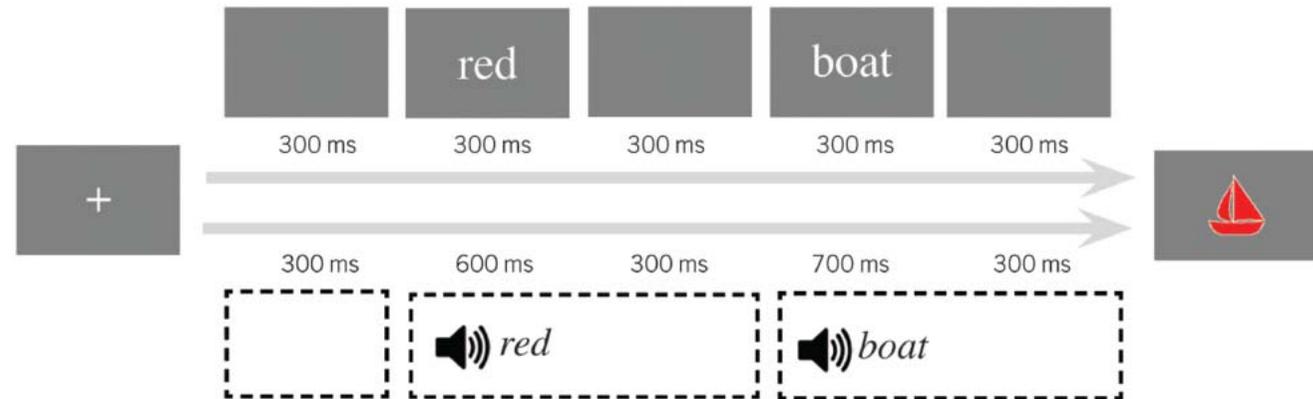
Bemis, D. K., & Pykkänen, L. (2013). Basic linguistic composition recruits the left anterior temporal lobe and left angular gyrus during both listening and reading. *Cerebral Cortex*, 23(8), 1859–1873.

Combinaison de deux mots: un adjectif et un nom.

Contrôles = nom seul, ou liste de deux noms.

Tâche = juger si l'image correspond aux mots lus ou entendus

- Les deux mots dans la condition « composition »
- L'un ou l'autre des deux mots dans la condition « liste »



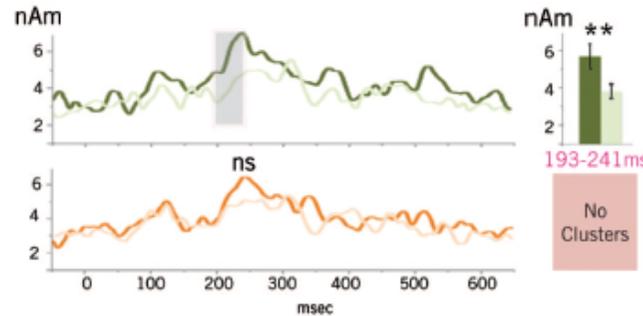
Etude d'une combinaison sémantique élémentaire : adjectif de couleur + nom

Bemis, D. K., & Pykkänen, L. (2013). Basic linguistic composition recruits the left anterior temporal lobe and left angular gyrus during both listening and reading. *Cerebral Cortex*, 23(8), 1859–1873.

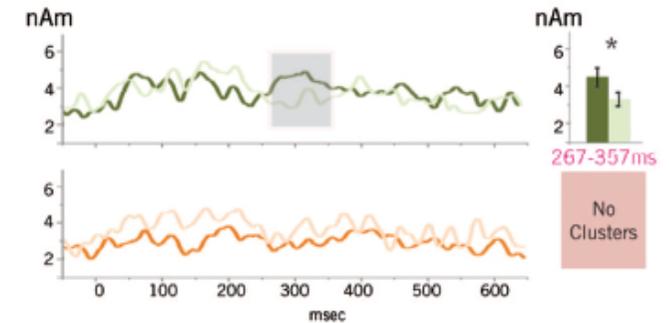
Résultats: activation augmentée dans la région temporale antérieure, puis dans le gyrus angulaire.



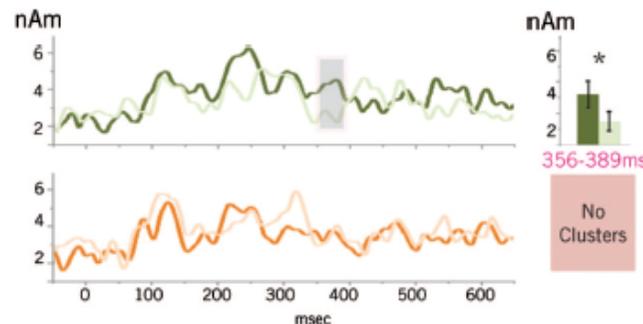
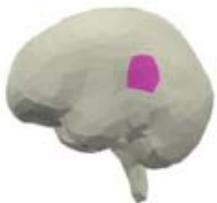
Both Modalities: Left ATL



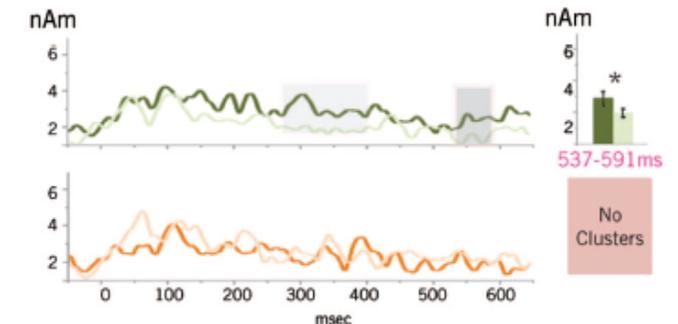
Auditory Tasks



Both Modalities: Left AG



Auditory Tasks



Two-word Composition

One-word Composition

Two-word List

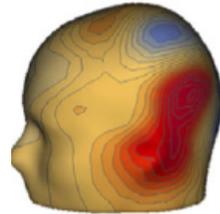
One-word List

Etude d'une combinaison sémantique élémentaire : adjectif de couleur + nom

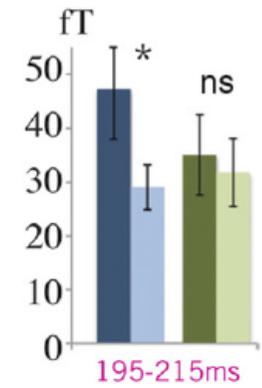
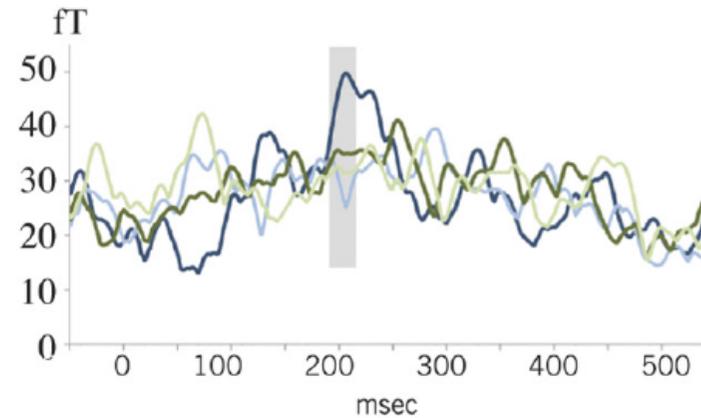
Bemis, D. K., & Pylkkänen, L. (2011). Simple composition: a magnetoencephalography investigation into the comprehension of minimal linguistic phrases. *J. Neuroscience*, 31(8), 2801–2814.

Résultats répliqués et étendus dans d'autres études.
Suggestion d'un effet additionnel dans la région frontale médiale inférieure.

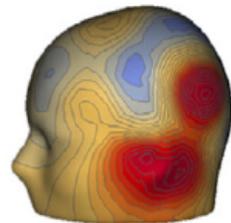
Half 1



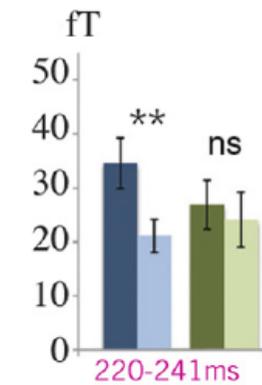
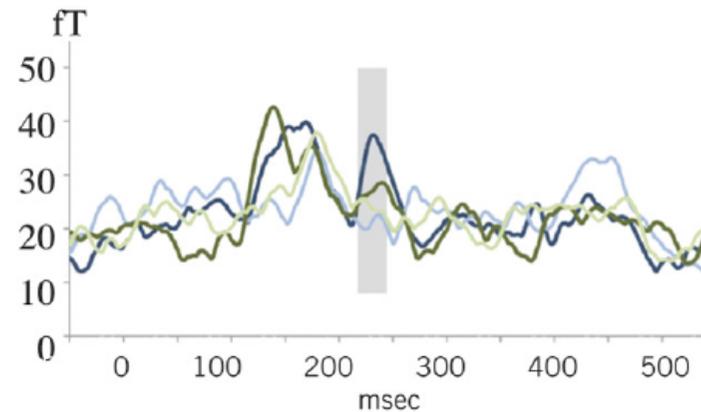
203ms



Half 2



230ms



Deux types de composition sémantique dans la région temporelle antérieure

Westerlund, M., Kastner, I., Al Kaabi, M., & Pylkkänen, L. (2015). The LATL as locus of composition: MEG evidence from English and Arabic. *Brain and Language*, 141, 124–134.

Les expériences antérieures portent presque toutes sur la combinaison Adjectif-Nom.

Ici, extension à de nouvelles combinaisons de deux mots, en distinguant deux types de combinaisons:

- la modification d'un mot par un autre (précision sémantique non-obligatoire)
- la « saturation des arguments » (ajout d'un complément obligatoire)

Tâche = mémorisation en vue d'un jugement ultérieur.

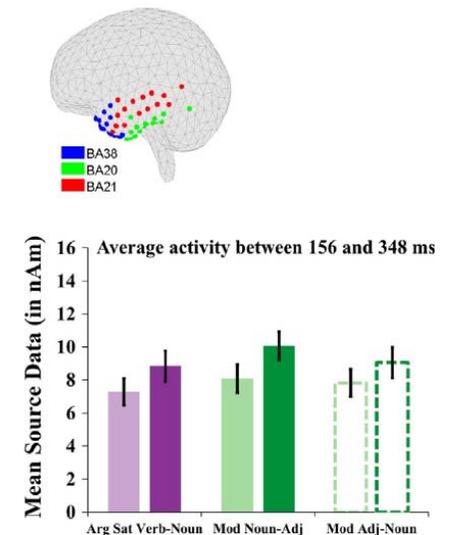
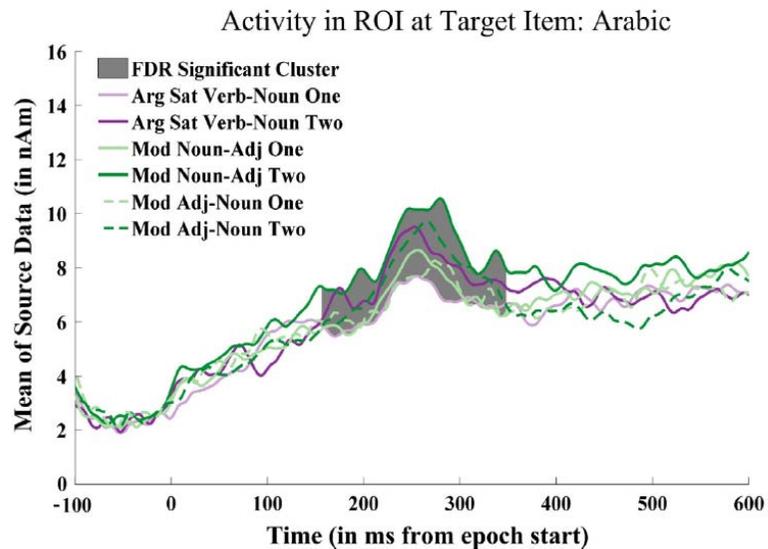
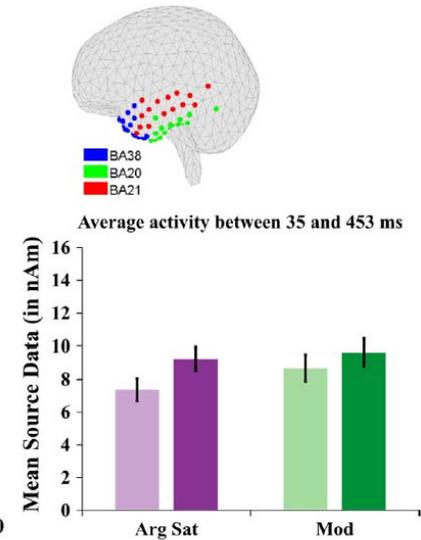
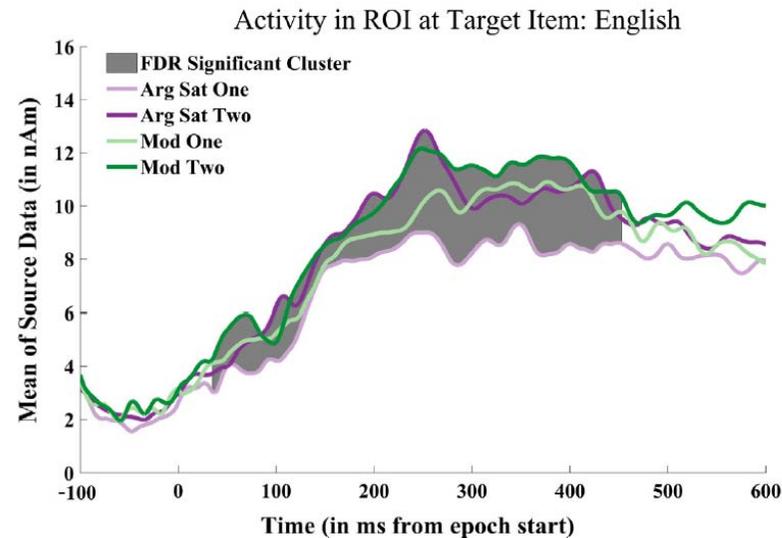
Subcondition	Combinatory	Non-Combinatory
Modification		
Adjective-Noun	<i>black sweater</i>	<i>rkgjg sweater</i>
Adverb-Verb	<i>never jogged</i>	<i>nhcny jogged</i>
Adverb-Adjective	<i>very soft</i>	<i>rmwz soft</i>
Argument Saturation		
Verb-Noun	<i>eats meat</i>	<i>trwq meat</i>
Preposition-Noun	<i>in Italy</i>	<i>xq Italy</i>
Determiner-Noun	<i>Tarzan's vine</i>	<i>fkbczswh vine</i>

Deux types de composition sémantique dans la région temporale antérieure

Westerlund, M., Kastner, I., Al Kaabi, M., & Pylkkänen, L. (2015). The LATL as locus of composition: MEG evidence from English and Arabic. *Brain and Language*, 141, 124–134.

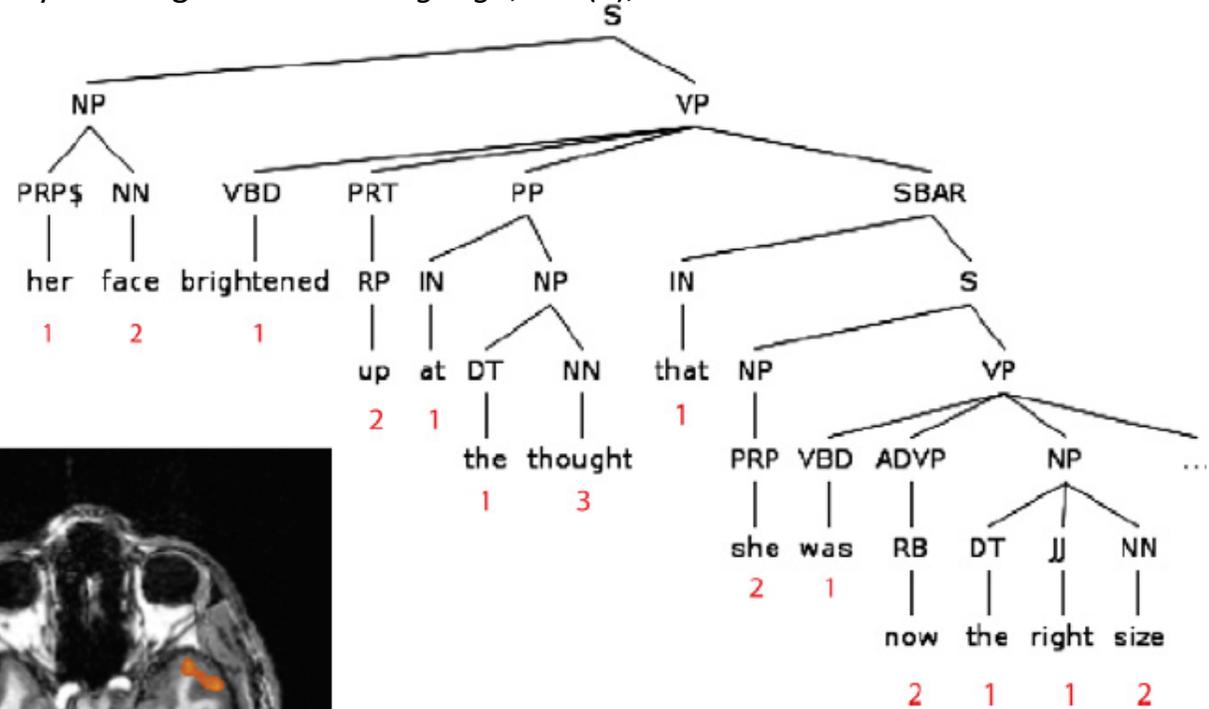
En anglais comme en arabe, les résultats sont similaires:

Activation plus importante de la région temporale antérieure gauche dès qu'il y a composition de deux mots, quelle que soit son type.

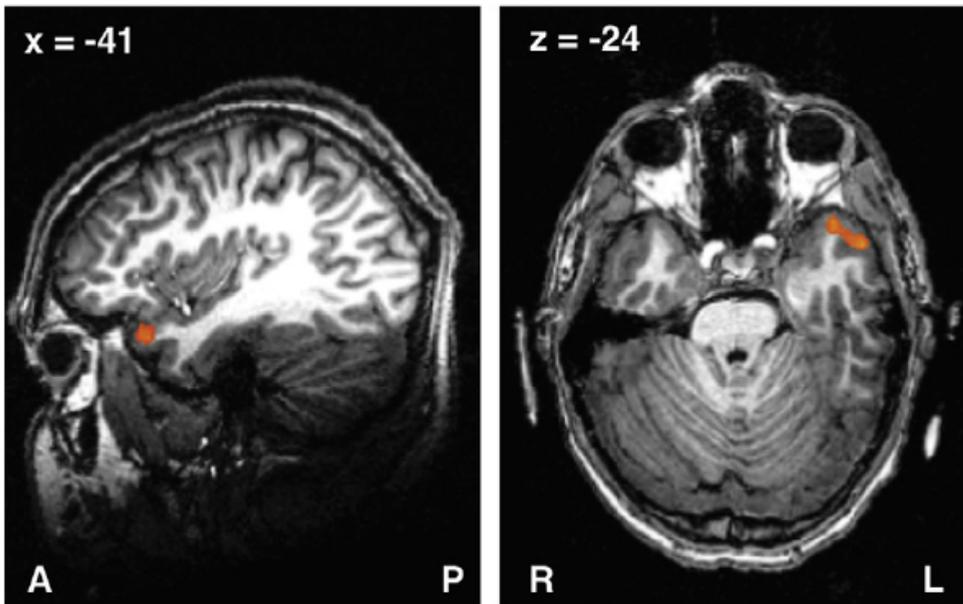


Corrélat de la complexité des phrases dans un contexte naturel : toujours le pôle temporel gauche

Brennan, J., Nir, Y., Hasson, U., Malach, R., Heeger, D. J., & Pylkkänen, L. (2012). Syntactic structure building in the anterior temporal lobe during natural story listening. *Brain and Language*, 120(2), 163–173.



A. Syntactic Node Count



$p < .005$, uncorrected ■ ■ ■ ■ $p < 10^{-14}$

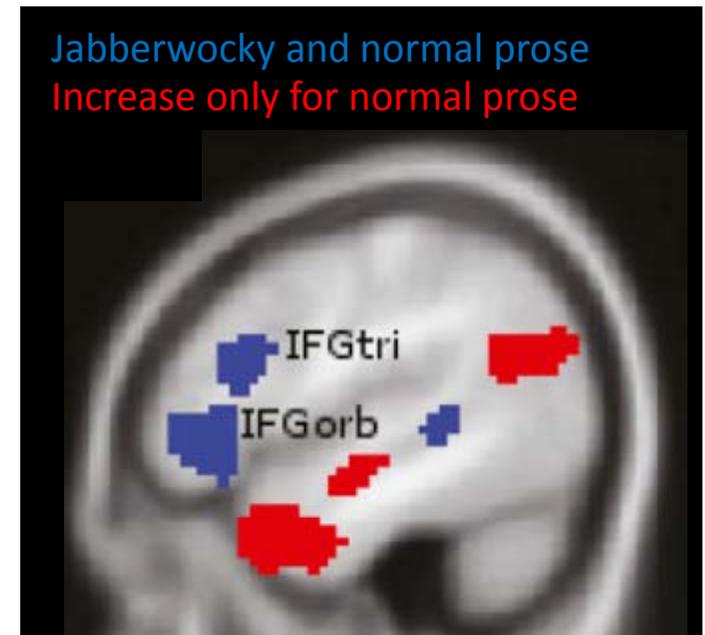
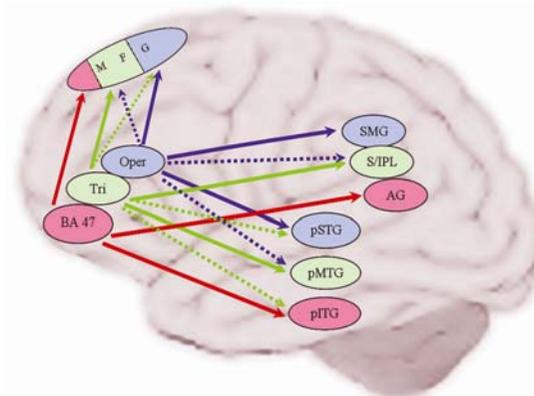
Conclusion: les mécanismes de l'unification

Un ensemble de régions corticales, plus le putamen gauche, est systématiquement impliqué dans la formation de syntagmes enchâssés.

Ces régions jouent vraisemblablement des rôles différents

- IFG et pSTS forment un « noyau » de régions impliquées dans la formation de structures syntaxiques
 - même en Jabberwocky
 - même minimales (pronom+verbe, voire un seul verbe, du moment qu'il soit conjugué).
- Le gyrus angulaire semble impliqué dans la composition des syntagmes nominaux (*plaid jacket*).
- La région temporale antérieure serait impliquée dans la formation de structures sémantiques de quelques mots.

→ Duplication de la capacité d'unification dans de multiples circuits parallèles?



Inflected words

