

Cours 2015:

Représentation cérébrale des structures linguistiques

Stanislas Dehaene
Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Cours n°6

**Dynamique
de la formation des syntagmes**

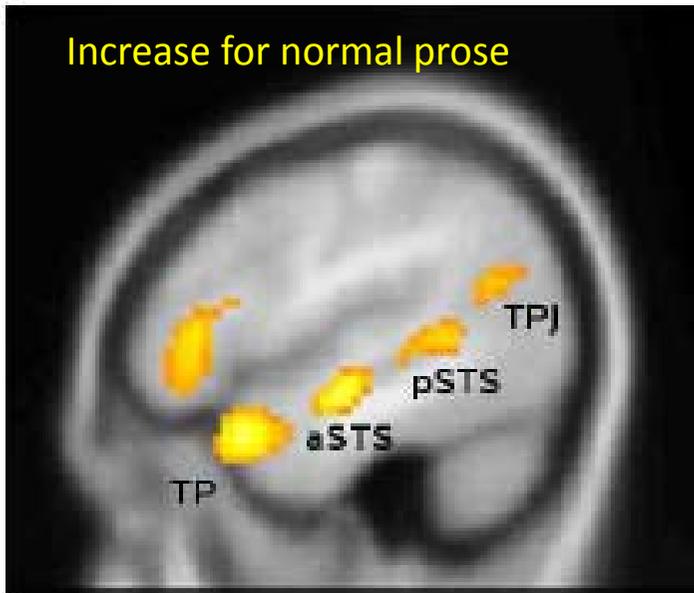
Manipulation paramétrique de la taille des syntagmes

Pallier, C., Devauchelle, A. D., & Dehaene, S. (2011). Cortical representation of the constituent structure of sentences. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 108(6), 2522–7.

Taille des syntagmes	Exemples de stimuli
12 mots (c12)	il reçoit un sac de céréales cultivées dans le nord du pays <i>une goupe reluse des ésous qui sapitaient le chadin de la prétine</i>
6 mots (c06)	la souris qui grignote sa tartine le passant examine le luxueux canapé <i>il bloint les moribres du sotoir elle perbire le monfum des peses</i>
4 mots (c04)	le nord du pays il déteste la couleur elles lisent leur noms <i>de garsu laune lâle il dénonte ses penvêtes suire poufinir leur tésense</i>
3 mots (c03)	résoudre un problème réparent le plafond il croit lire achètera une télévision <i>la degite liforde parlenser nos viltes ton maivel secutié de son commage</i>
2 mots (c02)	des taches les sources une cabane son chien le client des trous <i>elle relose il placine le coubasment son toutourment la haisse il reconte</i>
1 mot (c01)	chose arbre que signaler elles instruments regardant tendu copie états coeur plus <i>porps ils télais pouspontels ses hitement kiviser porcupable qui tradonce chameur ésume</i>

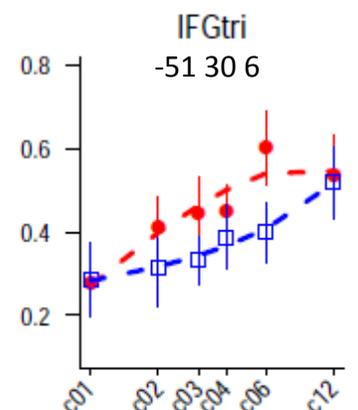
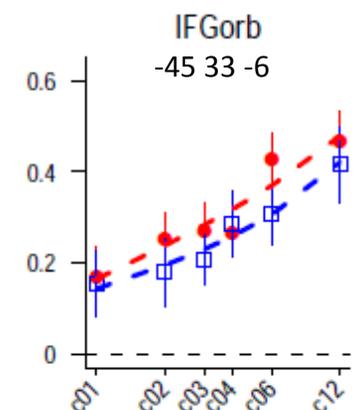
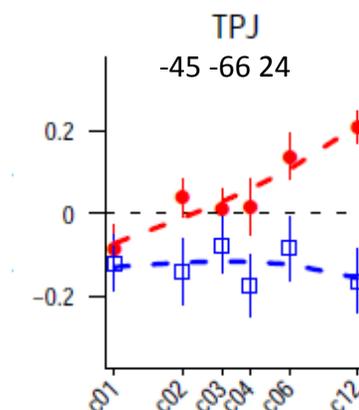
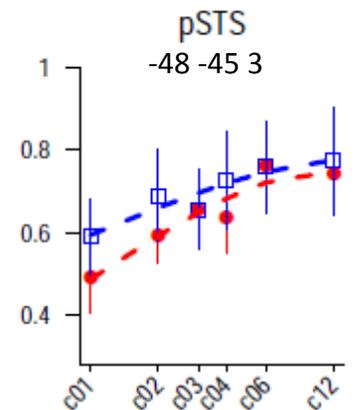
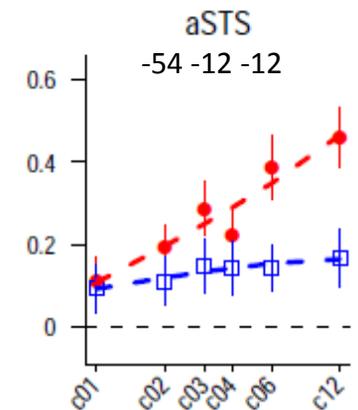
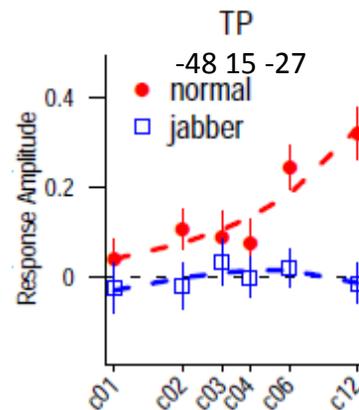
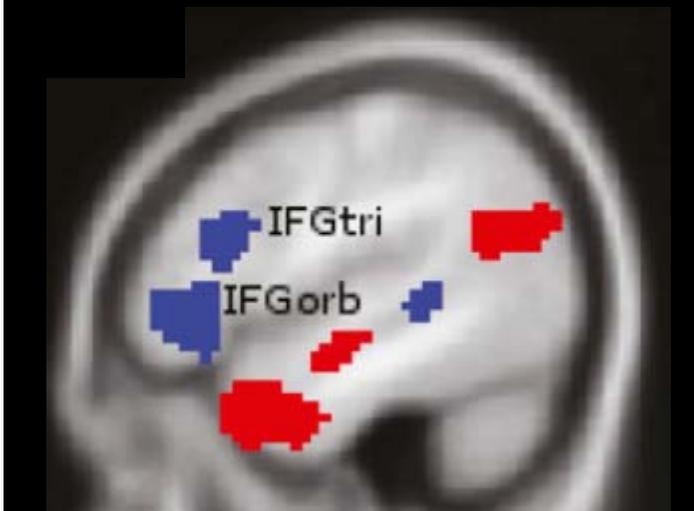
Un réseau frontal, temporel et sous-cortical gauche

Increase for normal prose

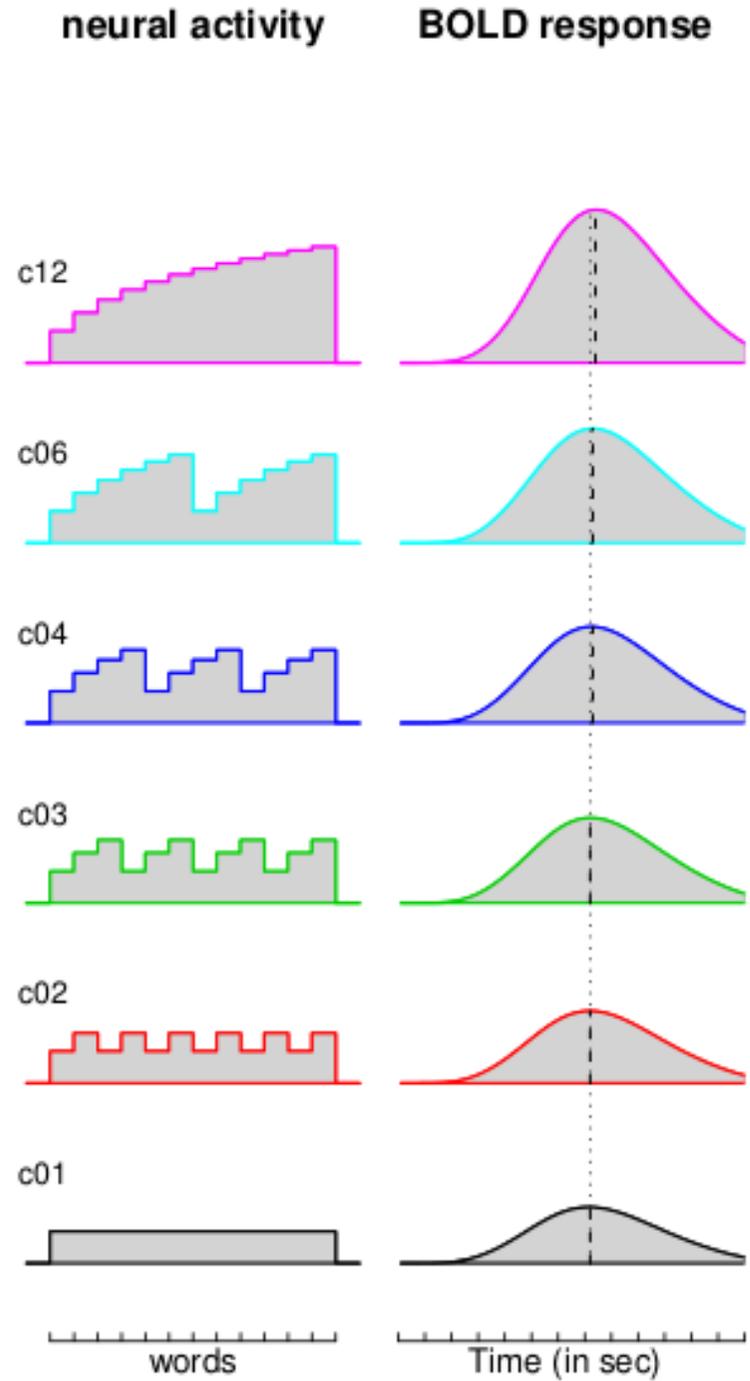


- L'activité augmente avec la taille des syntagmes dans une série de régions corticales de l'hémisphère gauche, plus le putamen gauche.
- Un sous-ensemble de régions (pSTS, IFGtri, IRGorb) répond autant aux phrases normales qu'au Jabberwocky.

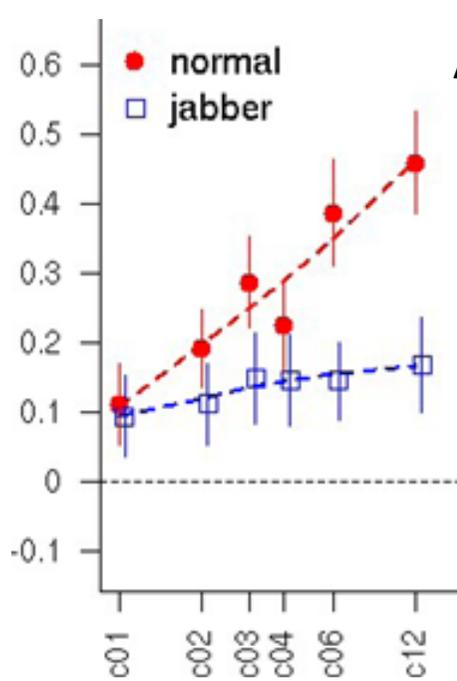
Jabberwocky and normal prose
Increase only for normal prose



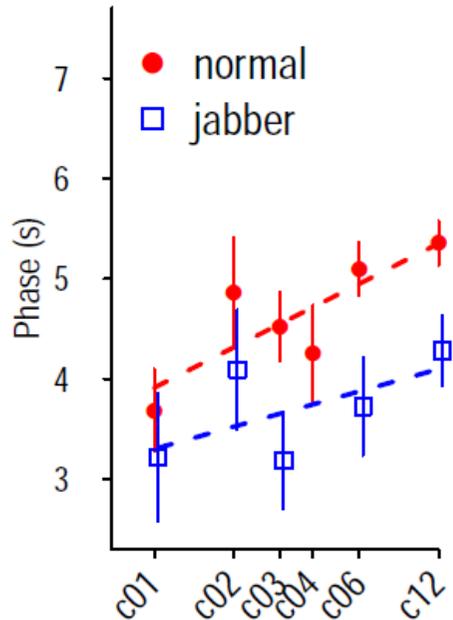
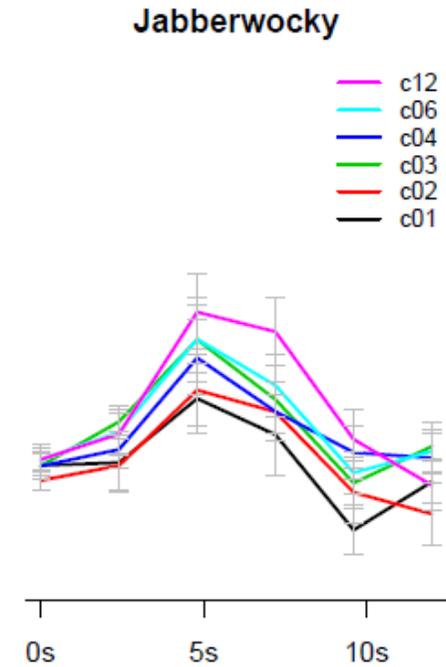
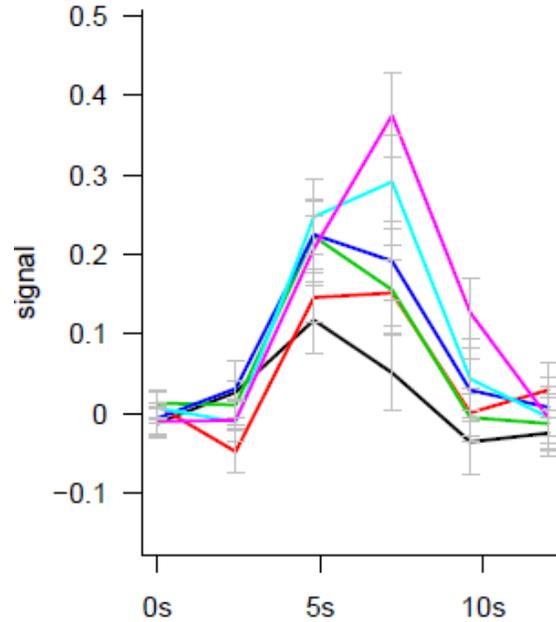
La formation des syntagmes se produit-elle de façon incrémentale?



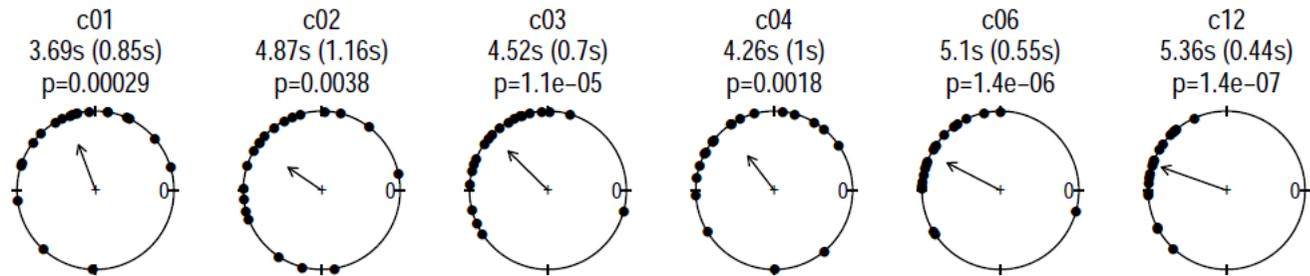
Les réponses cérébrales sont organisées dans le temps



Timecourse
Anterior STS



aSTS — Normal — Individual Phases Estimates

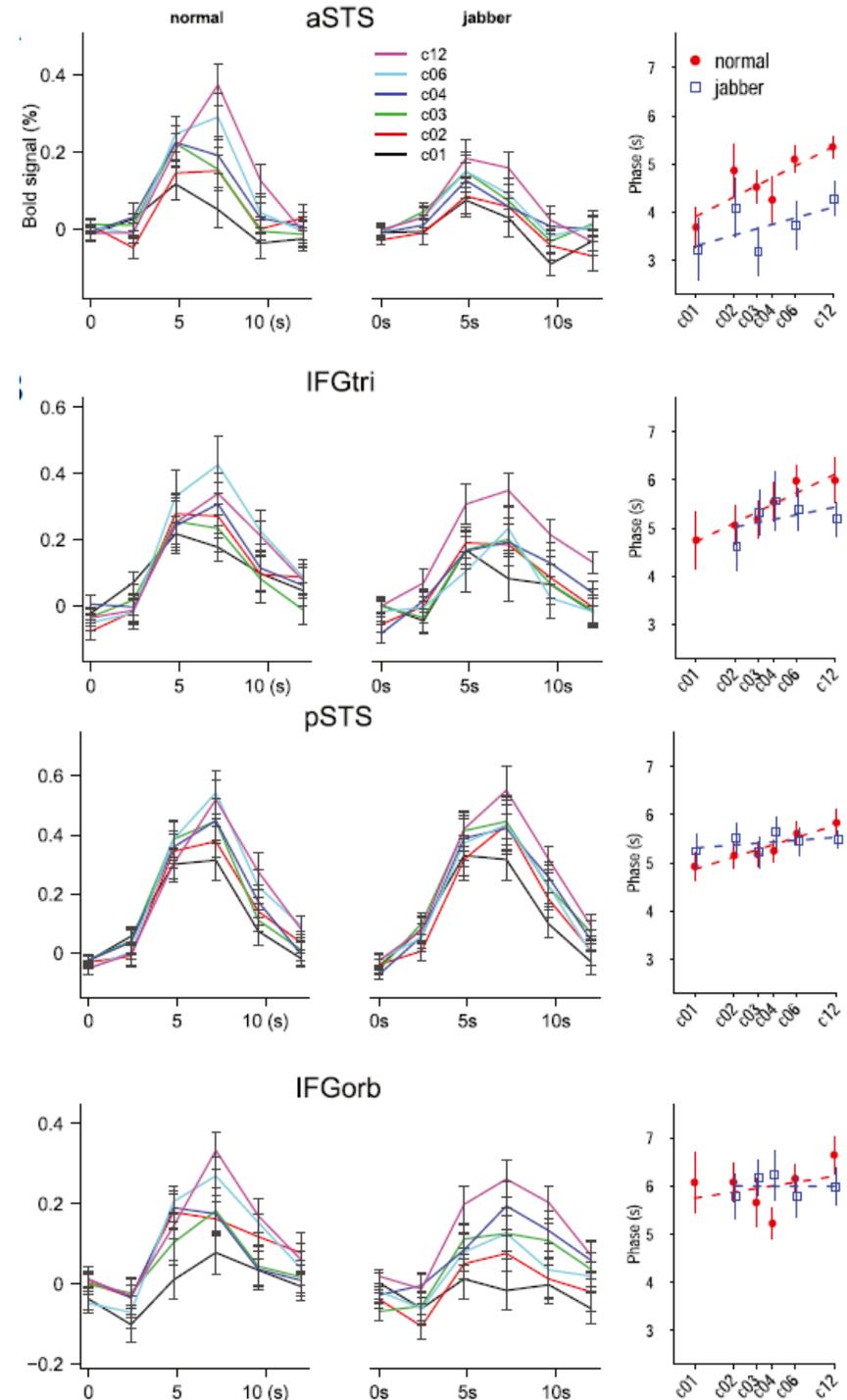


Les réponses cérébrales sont organisées dans le temps

La phase de la réponse hémodynamique augmente avec la taille des syntagmes dans la plupart des régions

Sa valeur absolue varie suivant les régions et donne une indication de la **vitesse de traitement des syntagmes**:

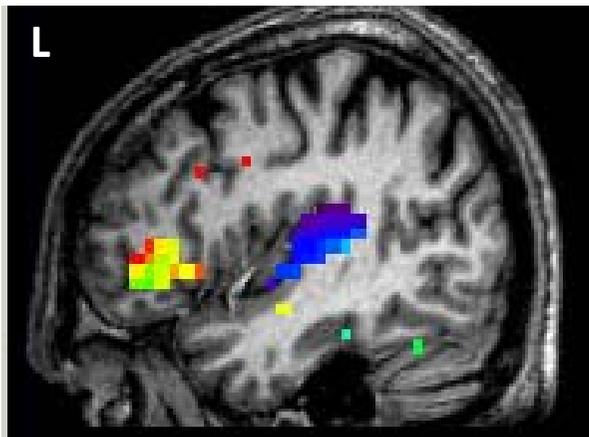
- Rapide dans les régions temporales
- Plus lente dans le gyrus frontal inférieur
- L'activation de la région frontale orbitaire semble clore le traitement de la séquence entière.



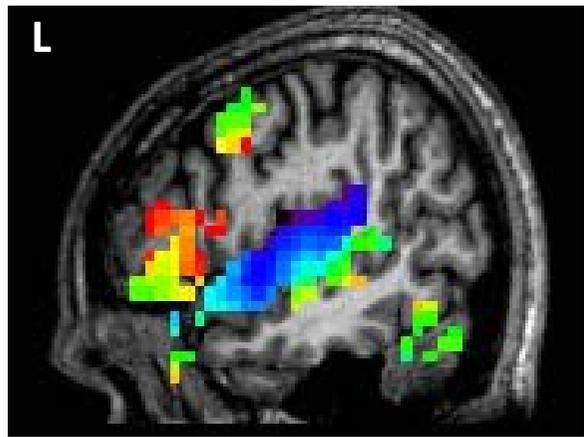
La phase des réponses aux phrases parlées révèle une hiérarchie d'aires cérébrales

Dehaene-Lambertz, Dehaene et al. (2006). Functional segregation of cortical language areas by sentence repetition. *Hum Brain Mapp*, 27(5), 360-371.

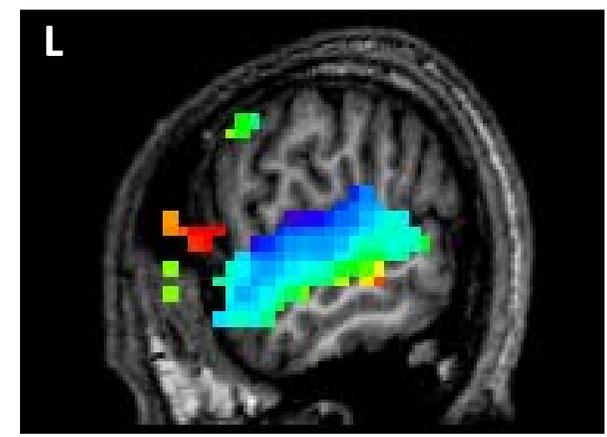
Réponses rapides dans le cortex auditif primaire, et de plus en plus lentes à mesure qu'on progresse vers les régions antérieures et postérieures du lobe temporal, avec une lenteur particulièrement prononcée dans la région frontale inférieure gauche.



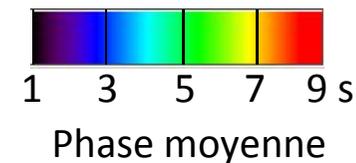
x=-44



x=-52

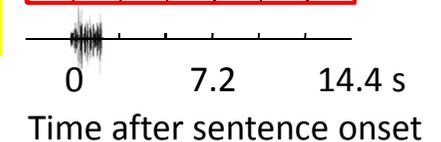
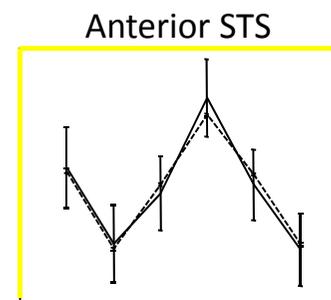
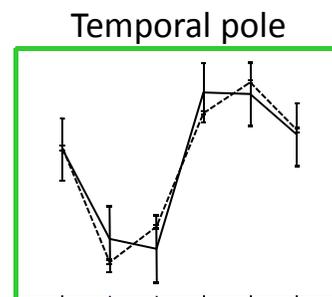
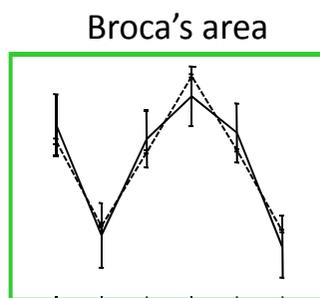
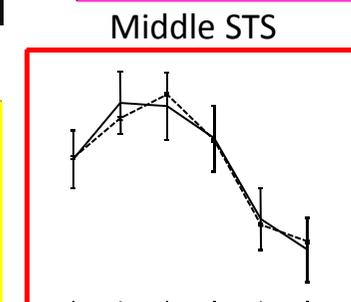
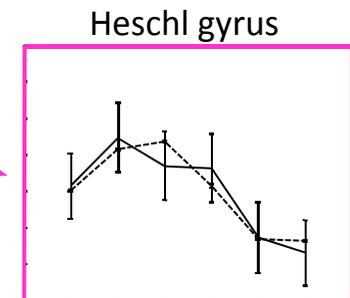
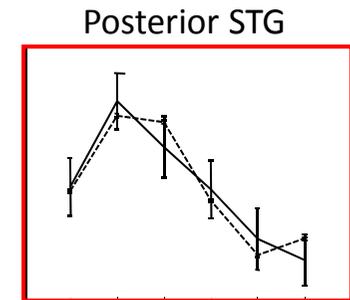
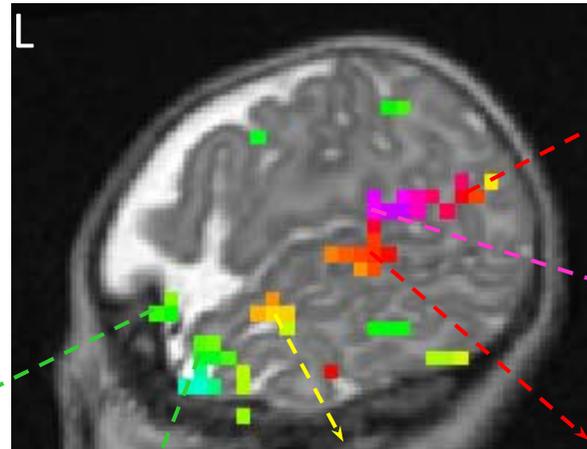
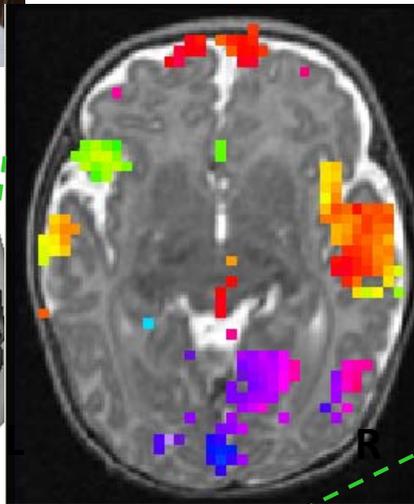
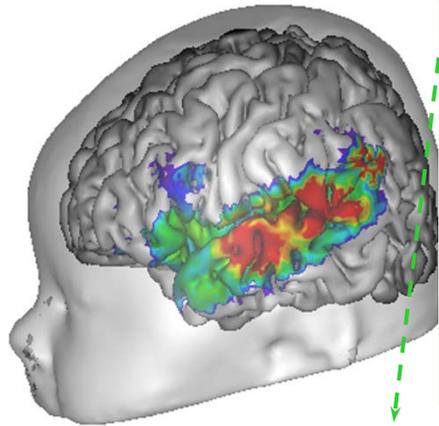


x=-60

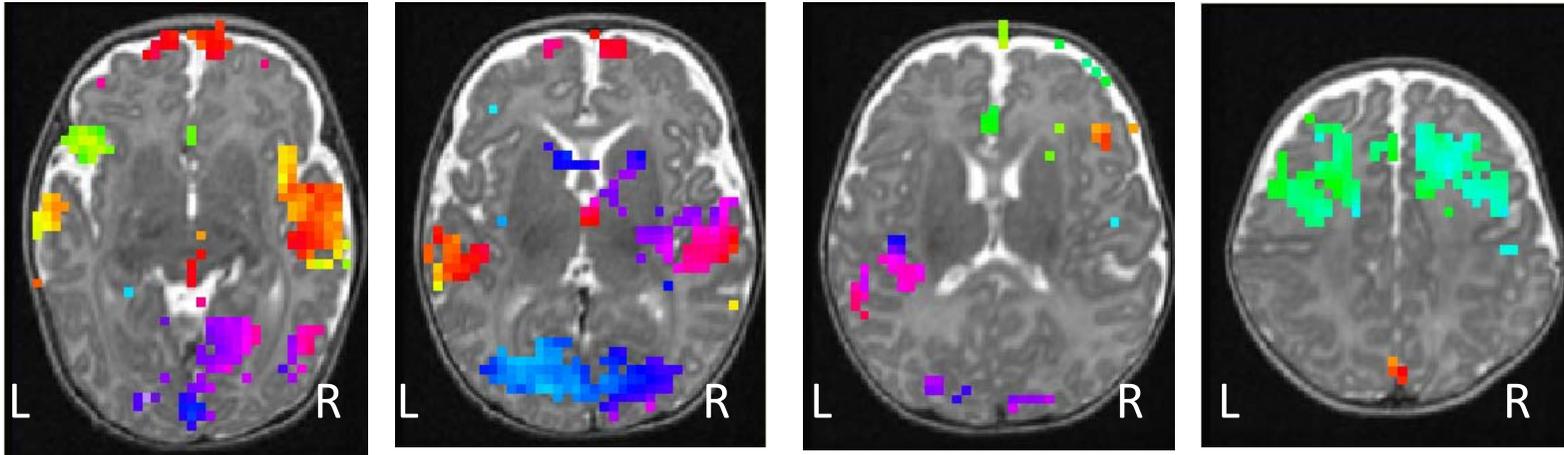


L'organisation hiérarchique des délais temporels est présente chez le bébé de deux mois.

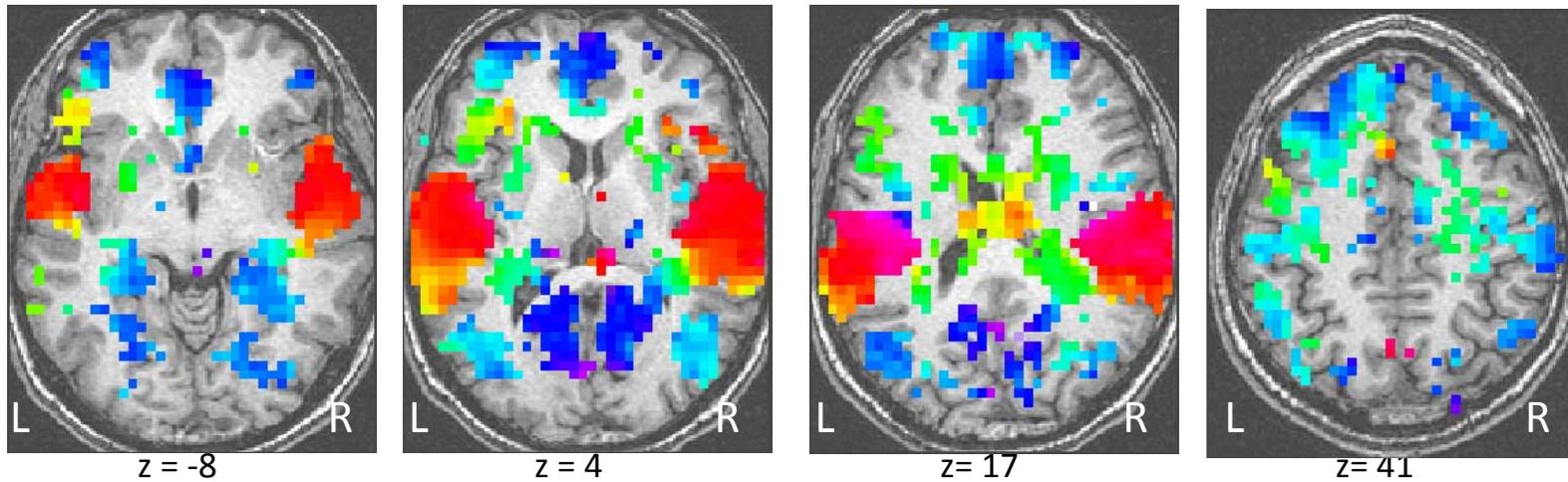
Dehaene-Lambertz, G., Hertz-Pannier, L., Dubois, J., Meriaux, S., Roche, A., Sigman, M., & Dehaene, S. (2006). Functional organization of perisylvian activation during presentation of sentences in preverbal infants. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 103(38), 14240–5.



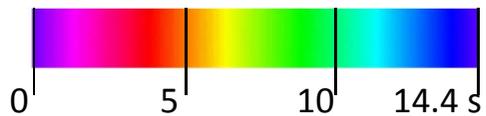
Bébés



Adultes



Phase moyenne de la réponse BOLD

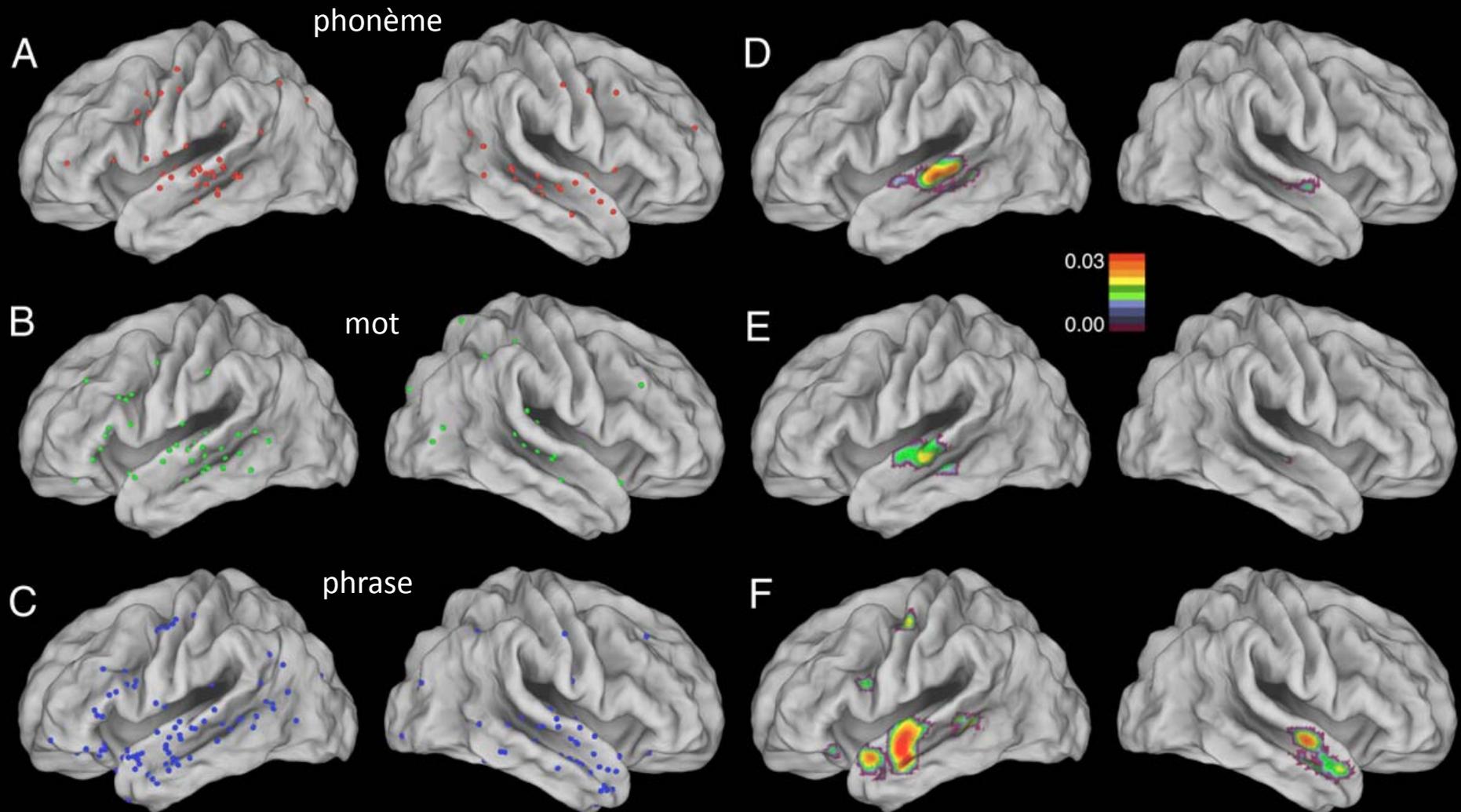


Dehaene-Lambertz, G., Hertz-Pannier, L., Dubois, J., Meriaux, S., Roche, A., Sigman, M., & Dehaene, S. (2006). Functional organization of perisylvian activation during presentation of sentences in preverbal infants. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 103(38), 14240–5.

Une hiérarchie d'échelles temporelles dans le cortex temporal

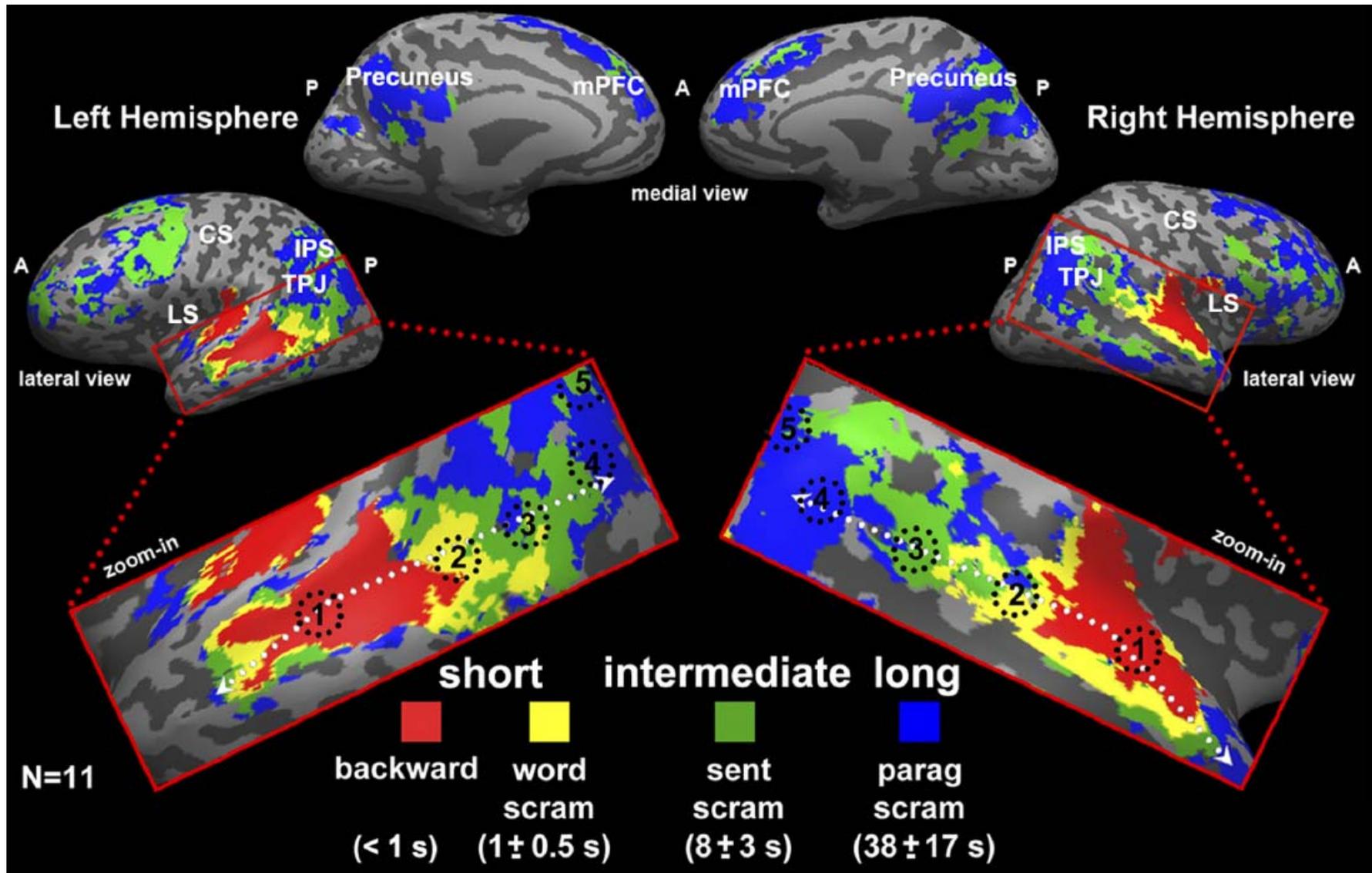
DeWitt, I., & Rauschecker, J. P. (2012). Phoneme and word recognition in the auditory ventral stream. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 109(8), E505-514.

Méta-analyse fondées sur les coordonnées d'articles de neuro-imagerie



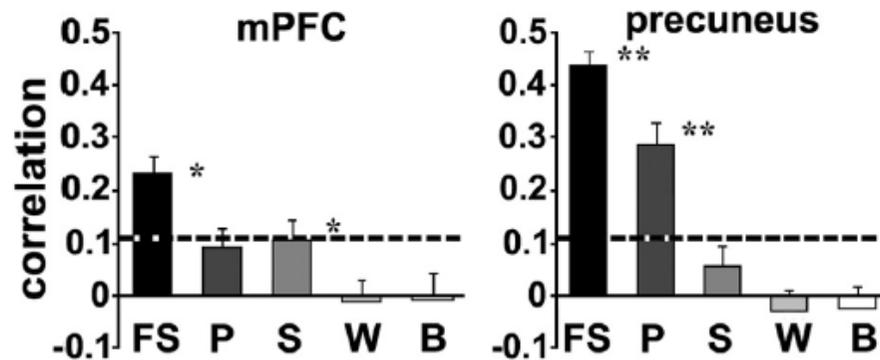
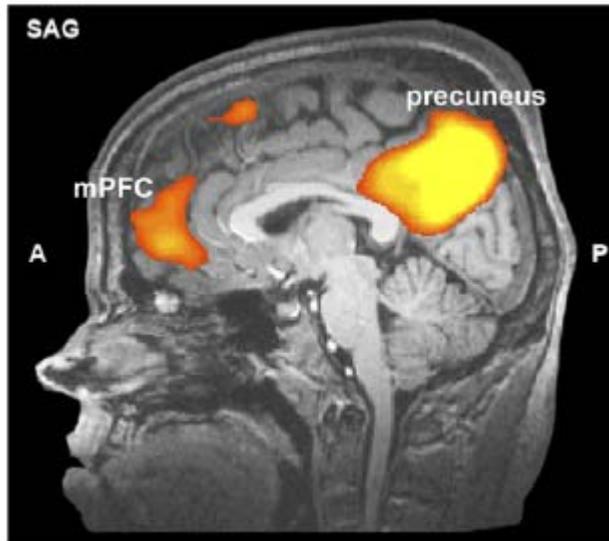
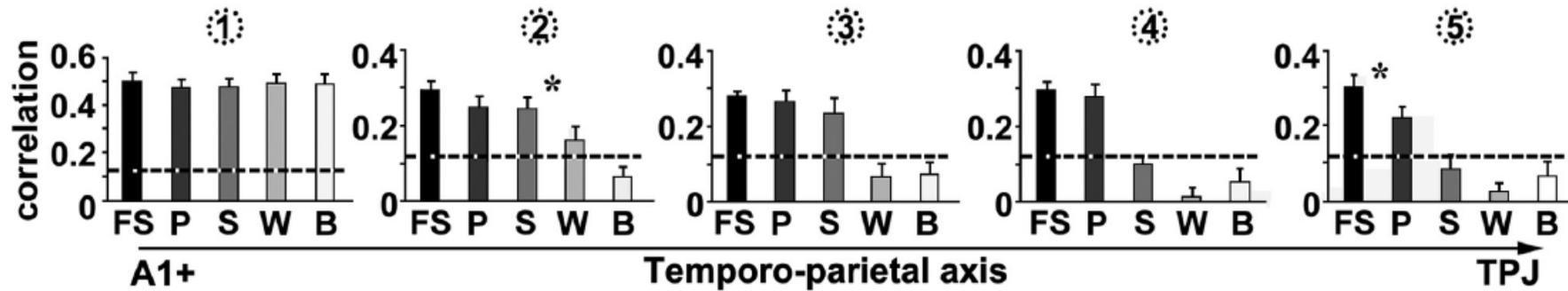
Une hiérarchie de fenêtres temporelles mise en évidence par la fragmentation aléatoire d'une histoire

Lerner, Y., Honey, C. J., Silbert, L. J., & Hasson, U. (2011). Topographic mapping of a hierarchy of temporal receptive windows using a narrated story. *J Neurosci*, 31(8), 2906–15.



Une hiérarchie de fenêtres temporelles mise en évidence par la fragmentation aléatoire d'une histoire

Lerner, Y., Honey, C. J., Silbert, L. J., & Hasson, U. (2011). Topographic mapping of a hierarchy of temporal receptive windows using a narrated story. *J Neurosci*, 31(8), 2906–15.

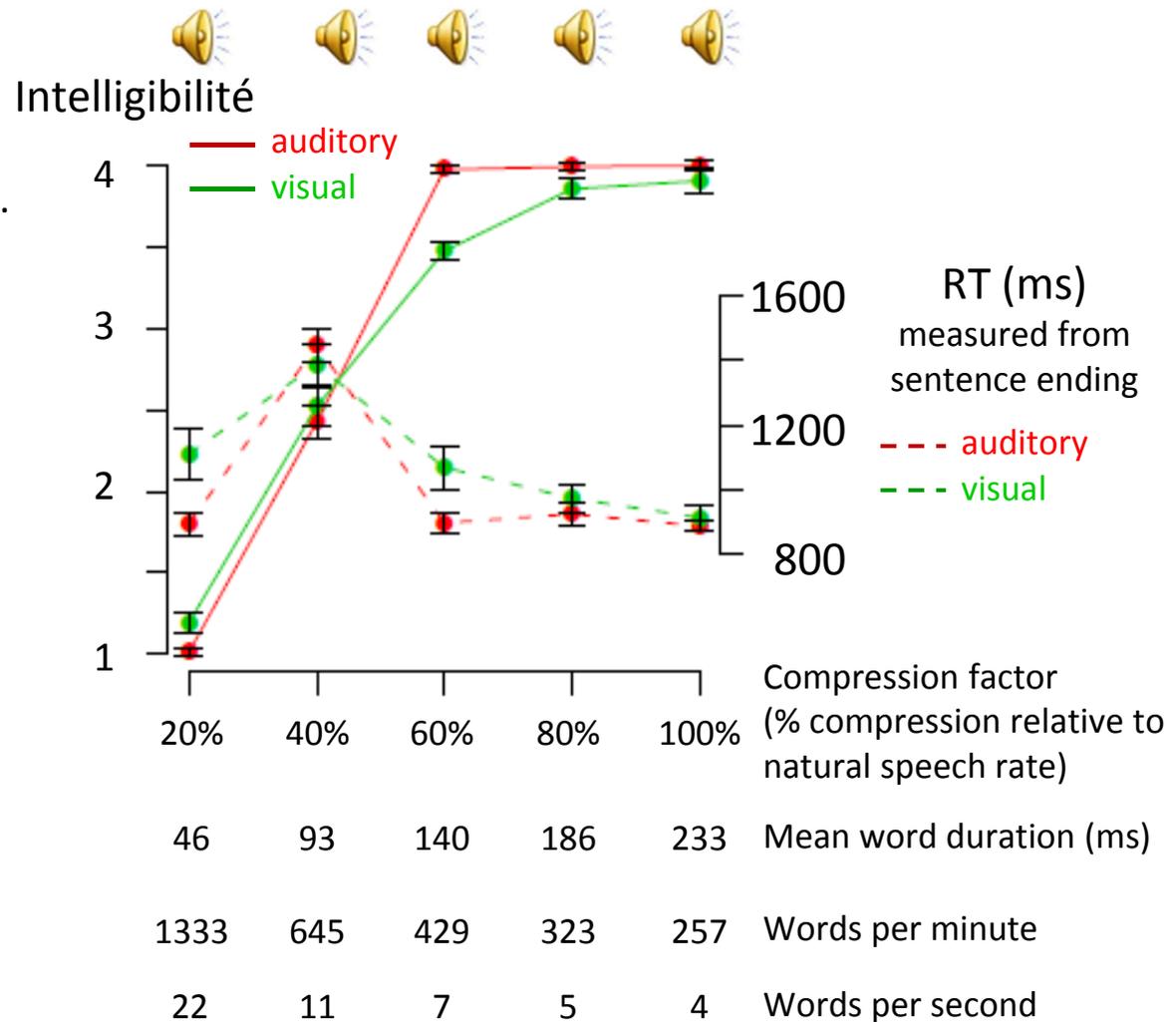


Le traitement des phrases peut-il être accéléré?

Vagharchakian, Dehaene-Lambertz, Pallier & Dehaene (J Neurosci 2012)

Nous avons scanné des sujets en IRM fonctionnelle alors qu'ils lisent ou écoutent des phrases présentées à des taux variables (20, 40, 60, 80 ou 100% de leur durée normale).

L'intelligibilité présente un seuil vers 40% de compression.

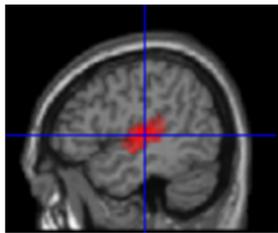
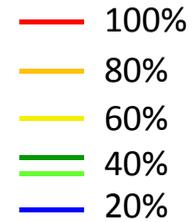


Dans les aires unimodales, la durée de l'activation est proportionnelle à la durée de stimulation.

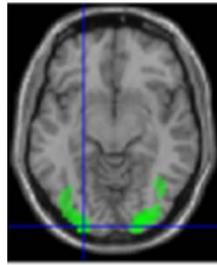
Dans les aires du langage, par contre, nous observons deux grandes différences:

- Des réponses totalement bimodales
- **L'activation varie très peu avec le taux de compression, jusqu'à 40%, puis s'effondre.**

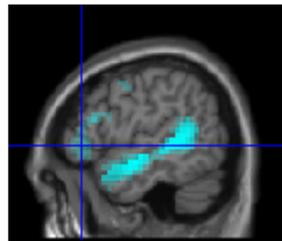
Compression factor



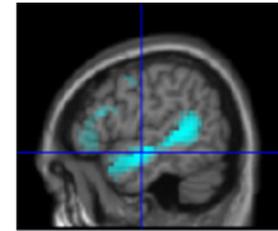
Heschl
[-48 -20 4]



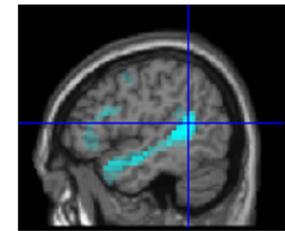
Occipital
[-24 -96 -8]



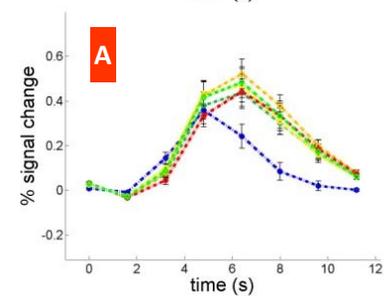
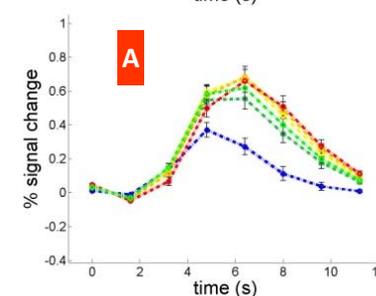
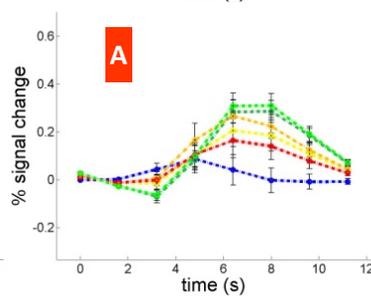
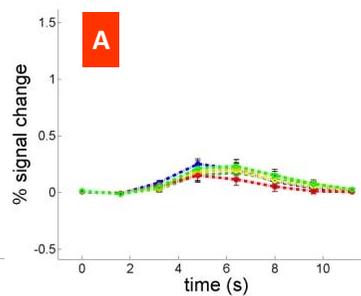
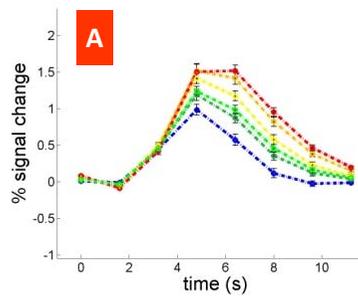
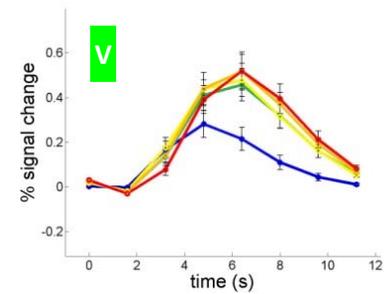
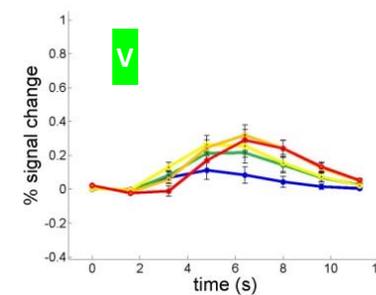
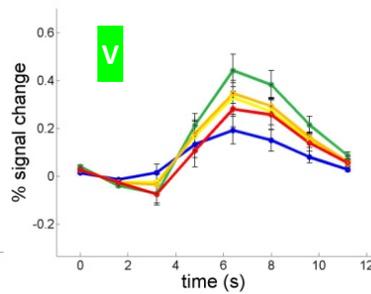
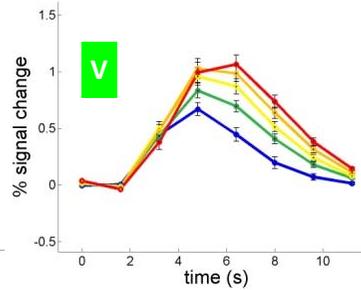
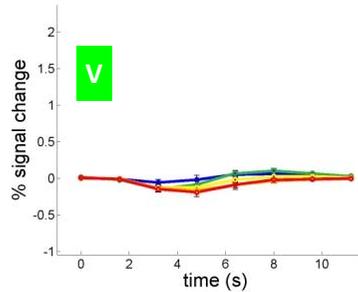
IFG
[-52 32 0]



aSTS
[- 52 -8 -12]

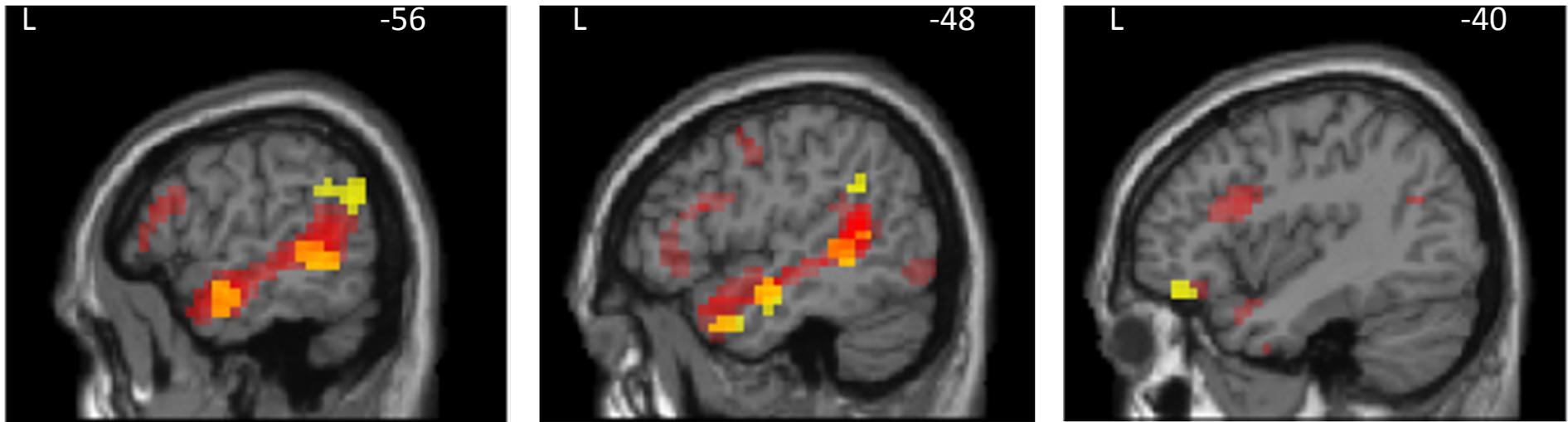


pSTS
[-48 -48 12]



Modulation par l'intelligibilité

Au seuil de compression (~40%), les variations d'intelligibilité subjective corrélient avec l'activation du gyrus temporal moyen et de la région frontale orbitale.

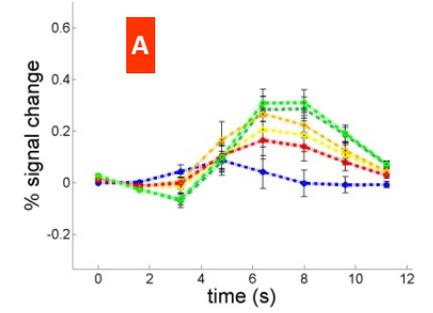
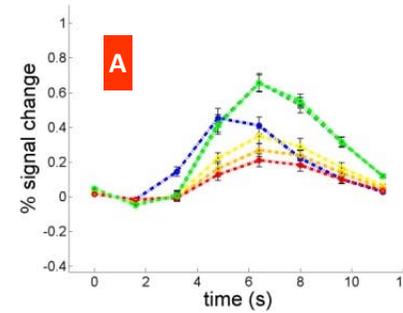
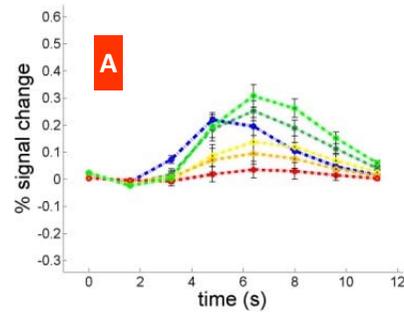
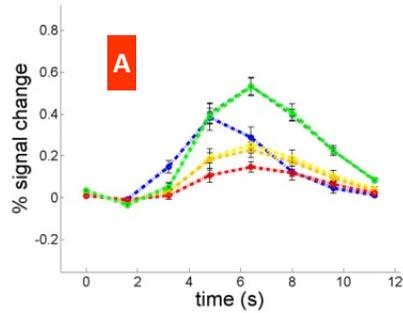
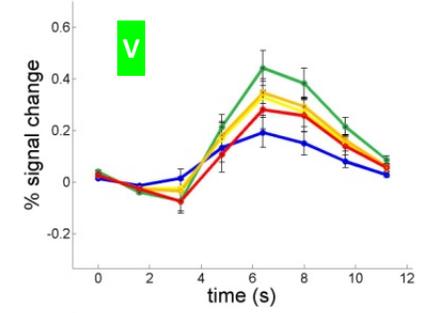
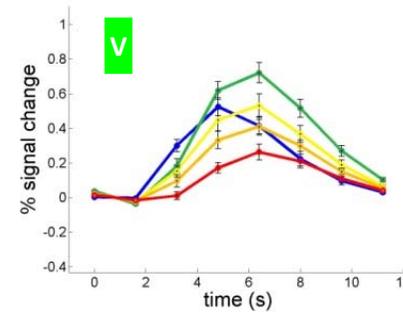
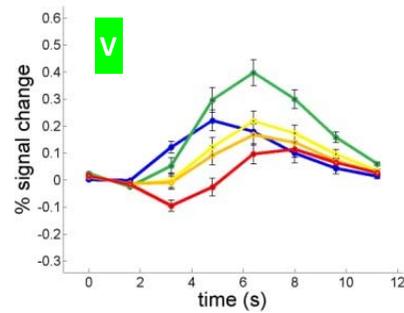
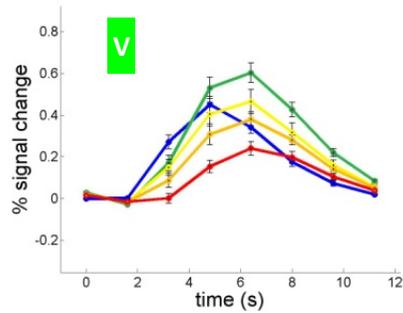
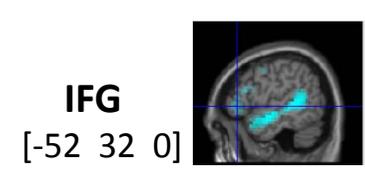
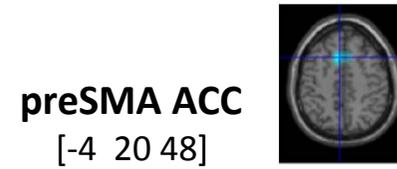
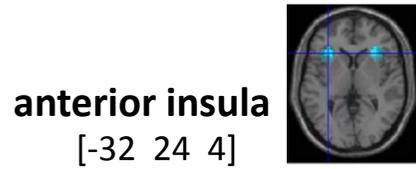


- Modulation par l'intelligibilité
- Effondrement en dessous de 40%
- Intersection

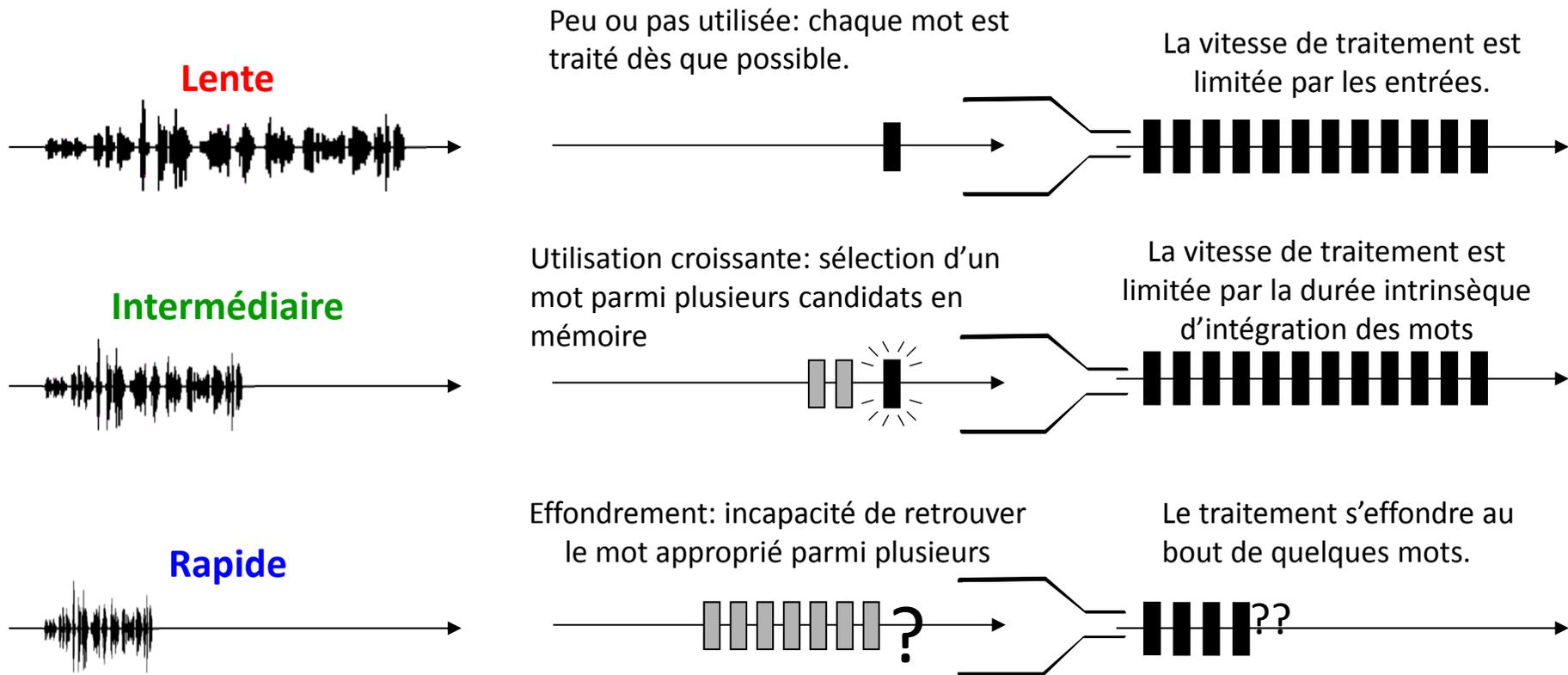
Dans une troisième groupe de régions, l'activité *augmente* à mesure que le taux de compression diminue.

Compression factor

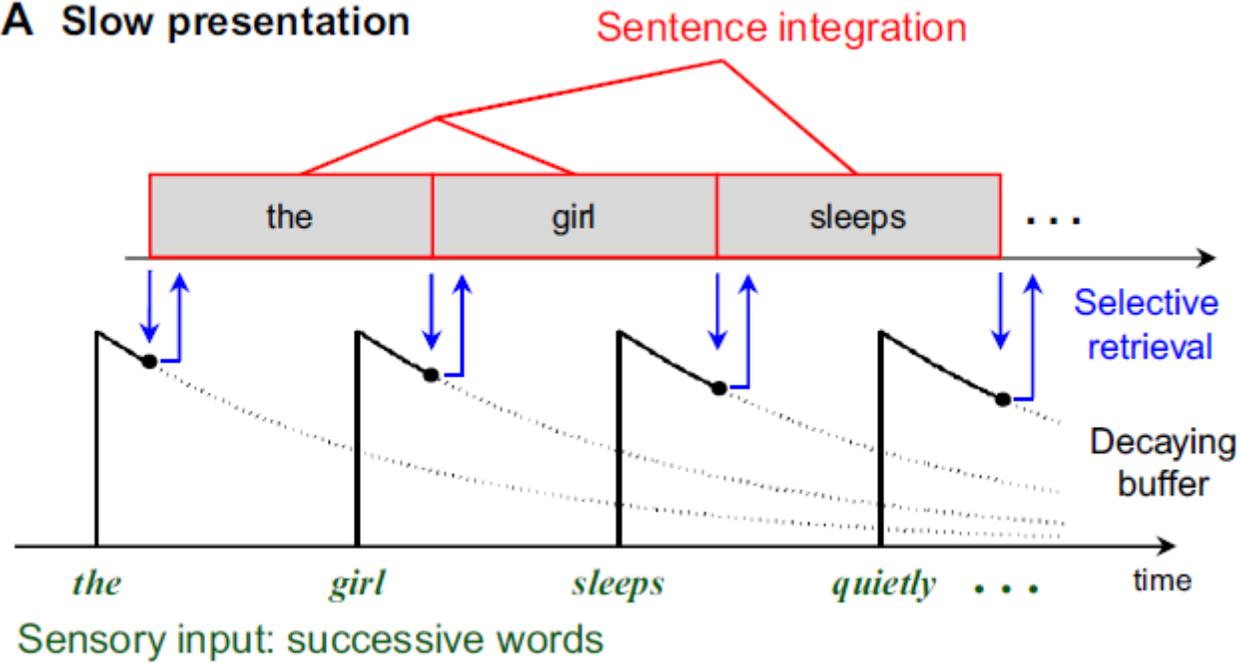
- 100%
- 80%
- 60%
- 40%
- 20%



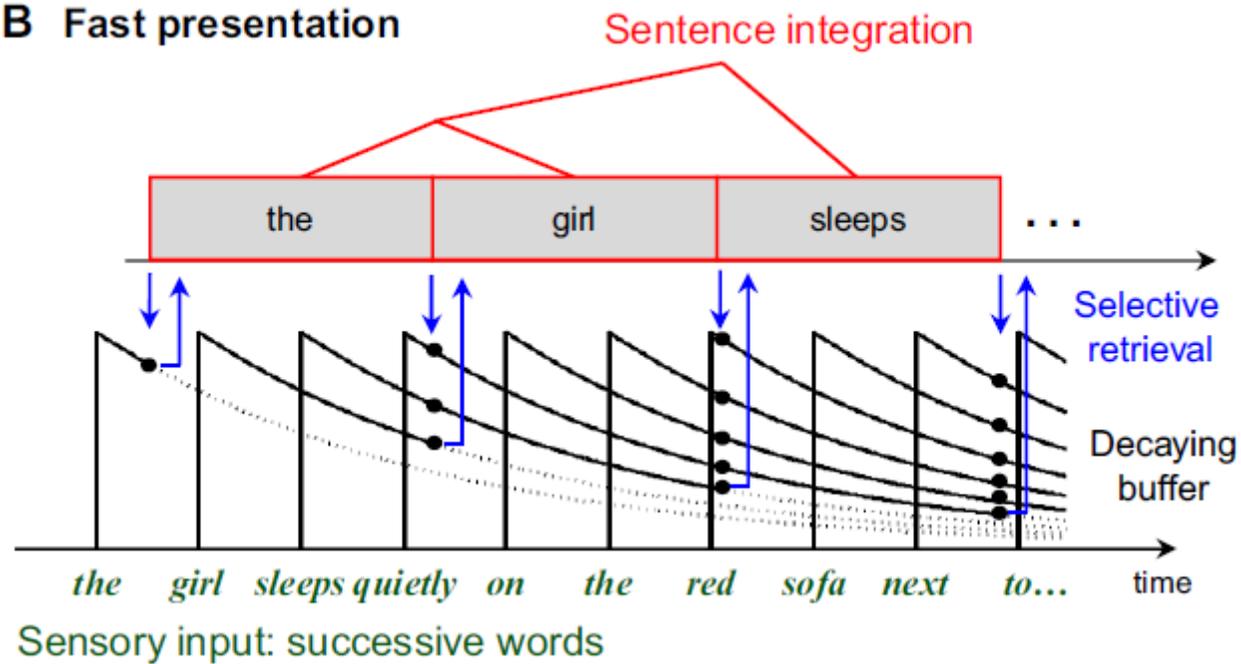
Hypothèse : l'existence d'une mémoire tampon (*buffer*)



A Slow presentation

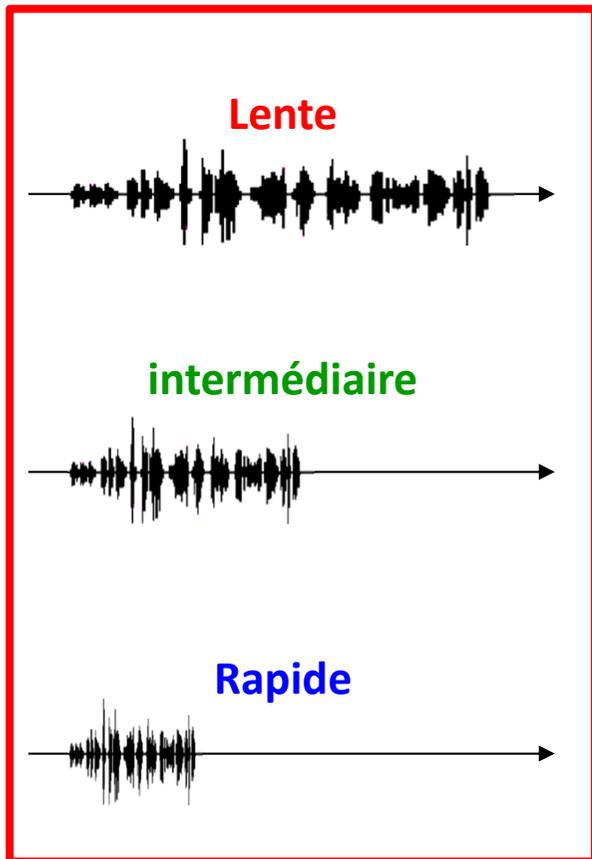
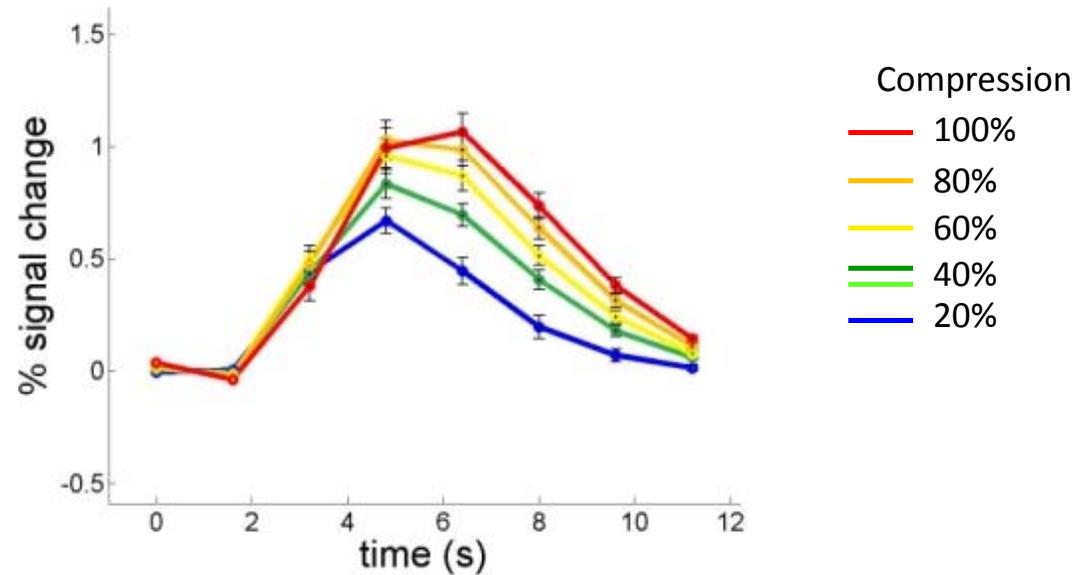


B Fast presentation



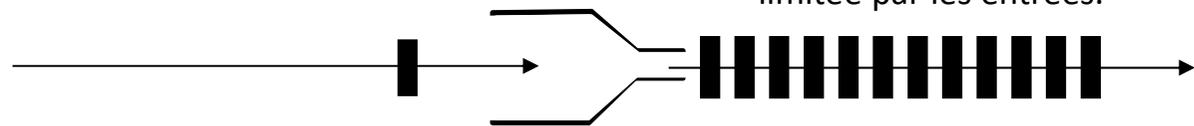
Explication des réponses en IRMf

Aires sensorielles:
réponse proportionnelle à la durée



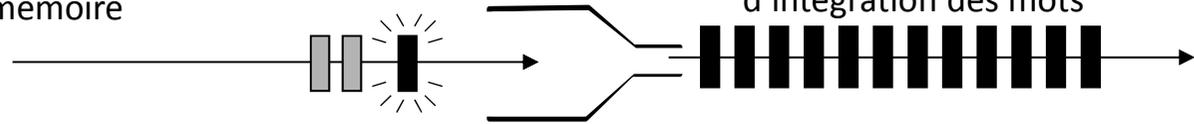
Peu ou pas utilisée: chaque mot est traité dès que possible.

La vitesse de traitement est limitée par les entrées.



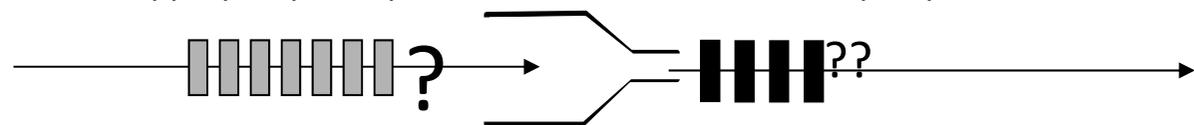
Utilisation croissante: sélection d'un mot parmi plusieurs candidats en mémoire

La vitesse de traitement est limitée par la durée intrinsèque d'intégration des mots



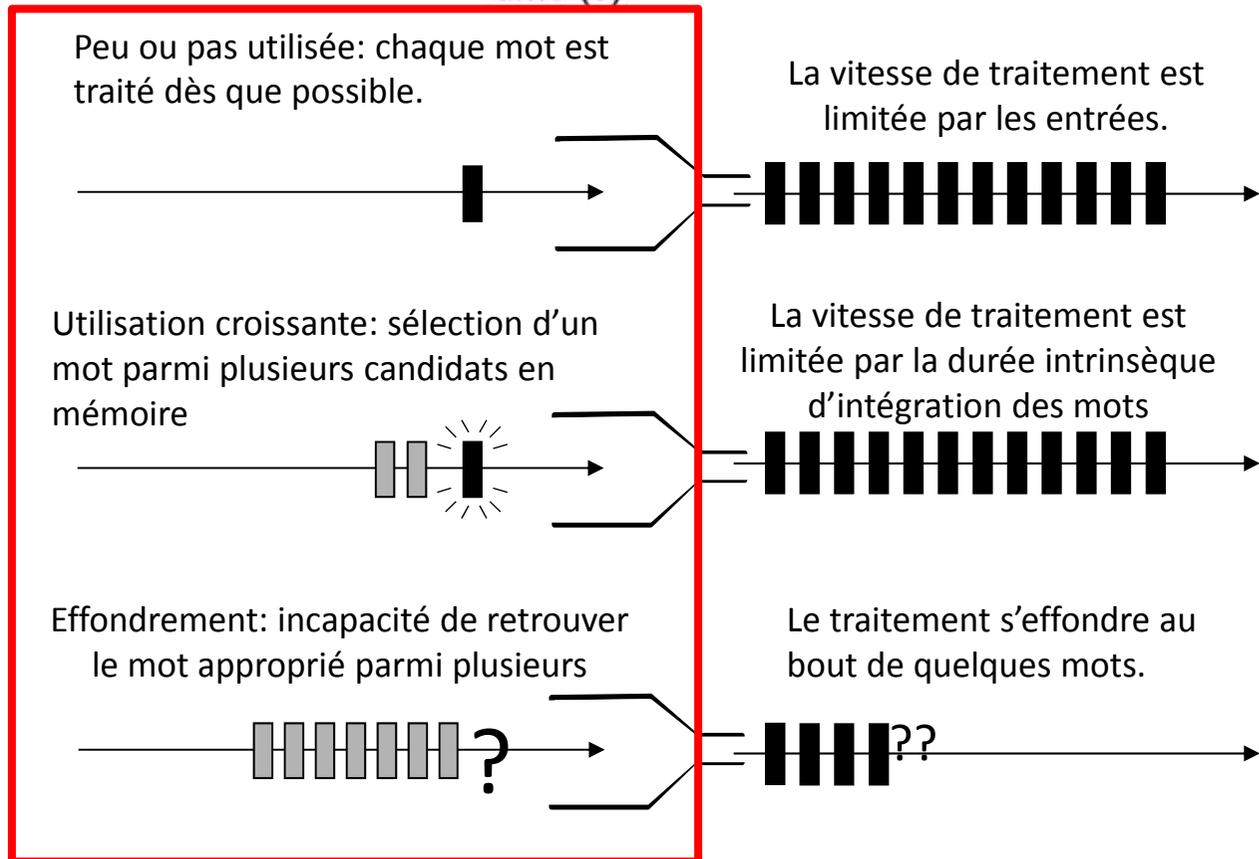
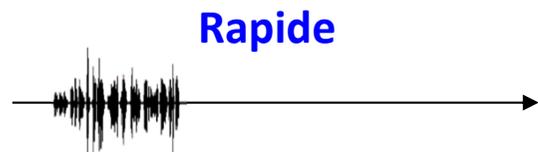
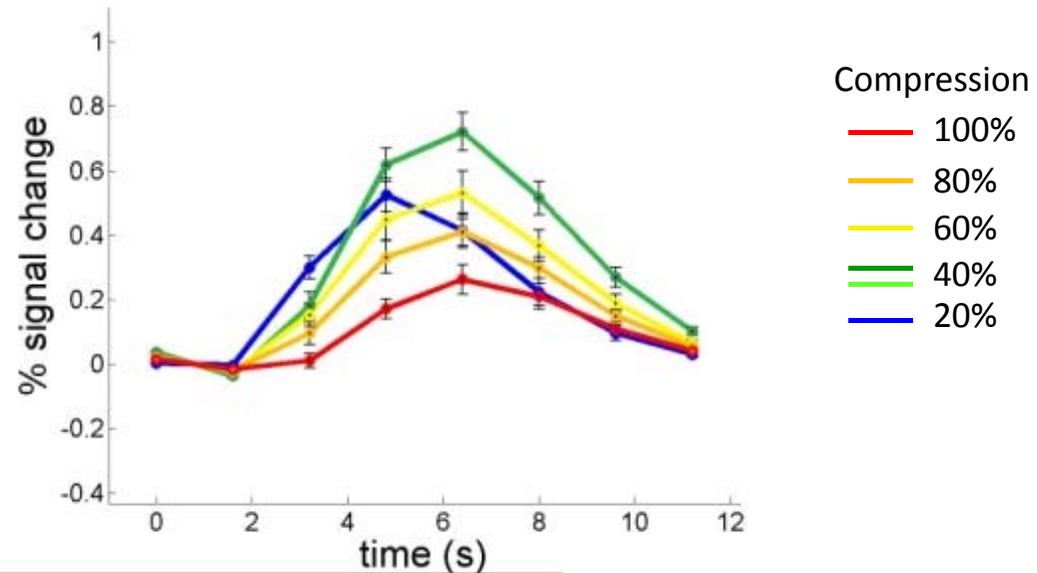
Effondrement: incapacité de retrouver le mot approprié parmi plusieurs

Le traitement s'effondre au bout de quelques mots.



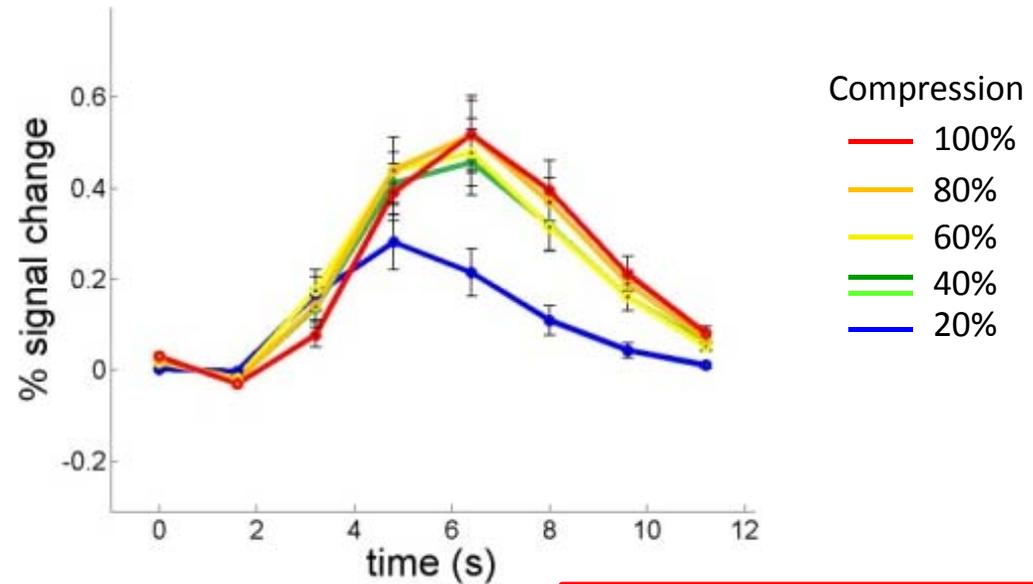
Explication des réponses en IRMf

Régions associées à la gestion de la mémoire tampon: accroissement de l'activité, puis effondrement.

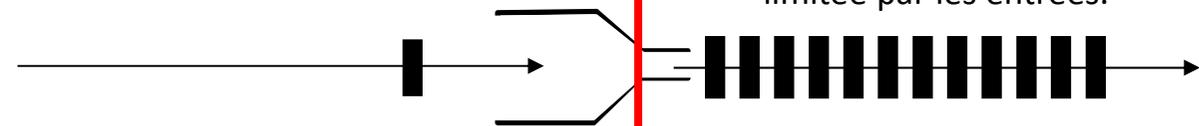


Explication des réponses en IRMf

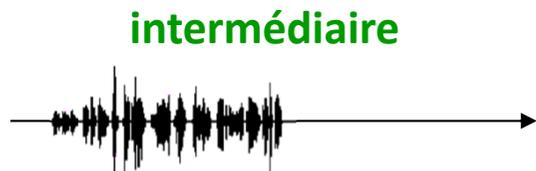
Aires du langage: activation constante, puis effondrement.



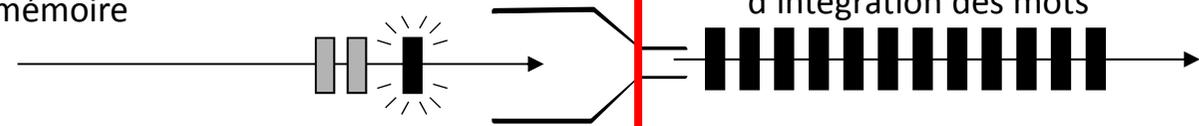
Peu ou pas utilisée: chaque mot est traité dès que possible.



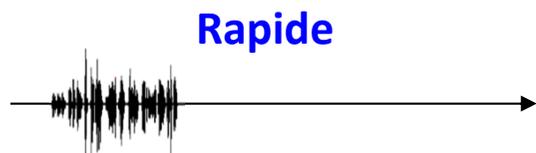
La vitesse de traitement est limitée par les entrées.



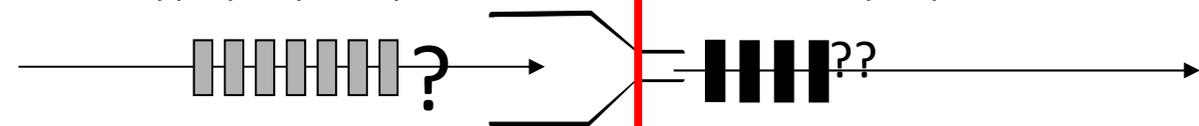
Utilisation croissante: sélection d'un mot parmi plusieurs candidats en mémoire



La vitesse de traitement est limitée par la durée intrinsèque d'intégration des mots

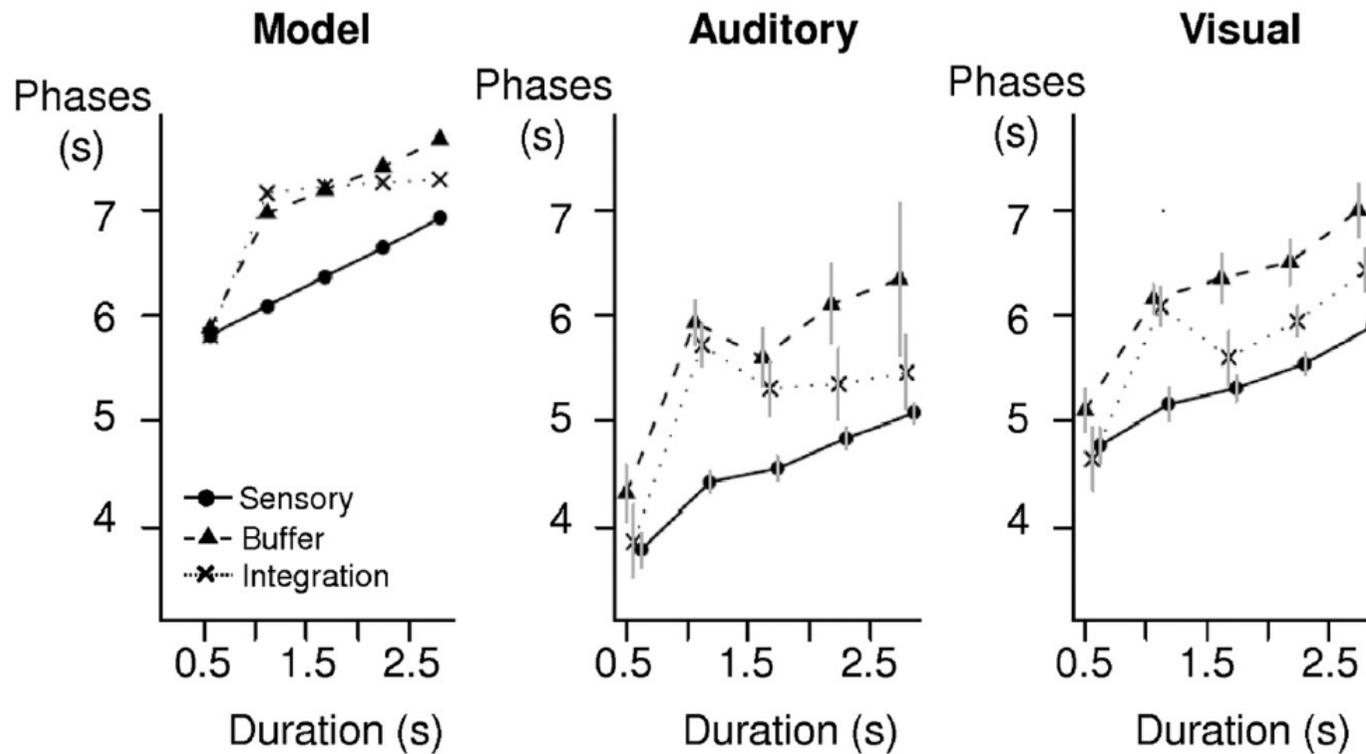


Effondrement: incapacité de retrouver le mot approprié parmi plusieurs



Le traitement s'effondre au bout de quelques mots.

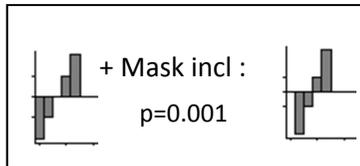
L'hypothèse d'une mémoire tampon prédit la phase moyenne des réponses en IRMf



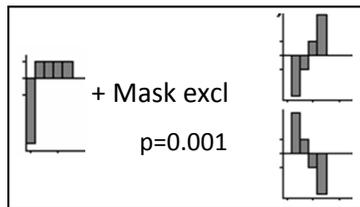
Le traitement des phrases peut-il être accéléré?

Vagarchakian, Dehaene-Lambertz, Pallier & Dehaene (J Neurosci 2012)

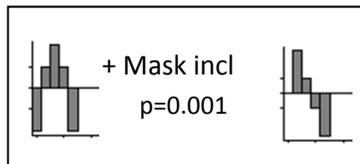
Linear increase with duration



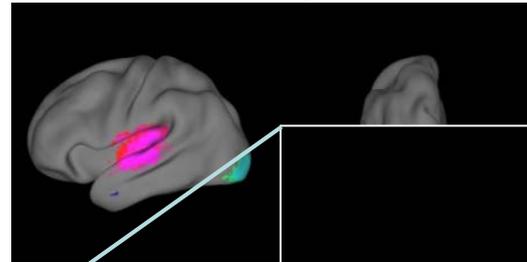
Collapse at shortest duration



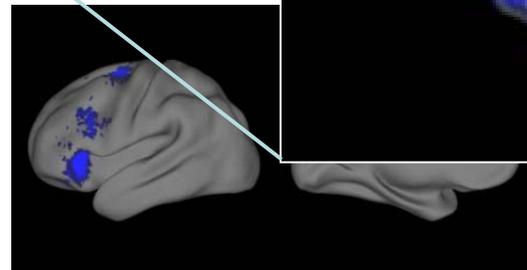
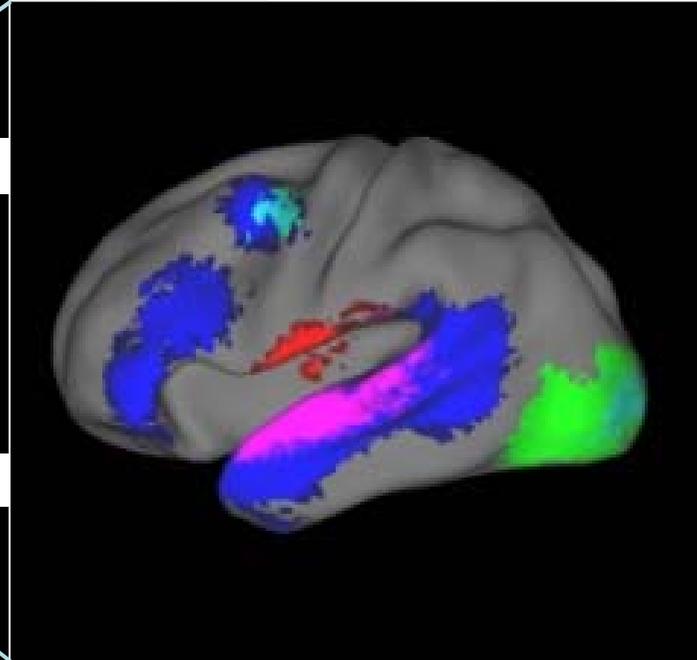
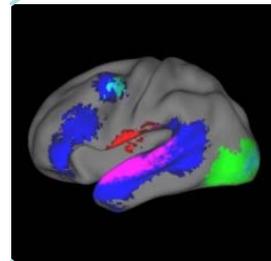
Peak at intermediate duration



Left hemisphere



Right hemisphere



Conclusion:

Les aires du langage (STS, IFG) ne peuvent guère accélérer leur temps de traitement.

Ce réseau semble posséder une dynamique intrinsèque, incompressible au-delà d'un certain point.

Color legend:

Auditory + Visual

Visual < Auditory



Visual > Auditory

La magnéto-encéphalographie peut-elle révéler la dynamique de l'intégration des mots dans des phrases?

Bastiaansen, M., Magyari, L., & Hagoort, P. (2010). Syntactic unification operations are reflected in oscillatory dynamics during on-line sentence comprehension. *J Cogn Neurosci*, 22(7), 1333–47.



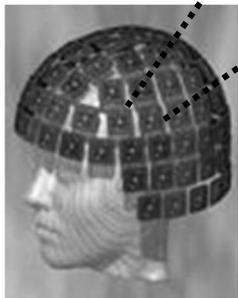
Peut-on suivre, en temps réel, la construction d'une phrase avec la magnéto-encéphalographie?

Expérience de Bastiaansen et al.: présentation séquentielle d'une série de mots écrits, formant une liste ou une phrase, avec ou sans violation syntaxique.

Table 1. Example Stimuli in Each Condition

A: COR	Janneke kreeg de zegen bij de rivier. <i>(Janneke got the blessing at the river).</i>
B: CAT	Janneke kreeg de zegenen bij de rivier. <i>(Janneke got the “to bless” at the river).</i>
C: RDM	De de Janneke zegen kreeg rivier bij. <i>(The the Janneke blessing got river at).</i>

Literal English translation in italics.



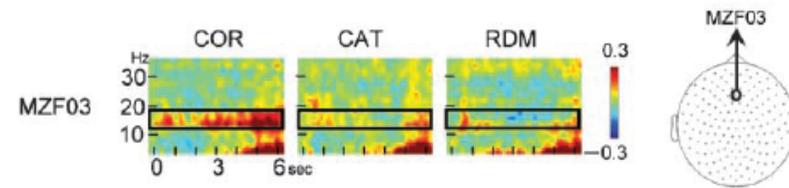
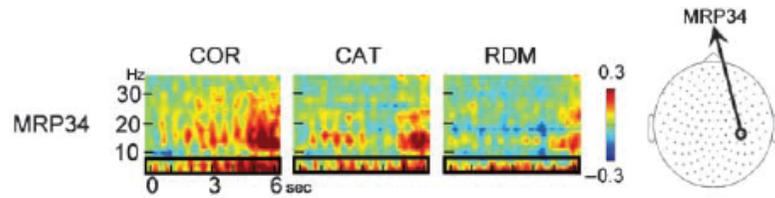
Dans deux bandes de fréquence (théta [4-7 Hz] et bas-béta [13-18 Hz]), on observe un accroissement progressif de la puissance au fil de la phrase, et un effondrement lorsque la phrase s'avère non-grammaticale.

Theta power onset-locked

Beta power onset-locked

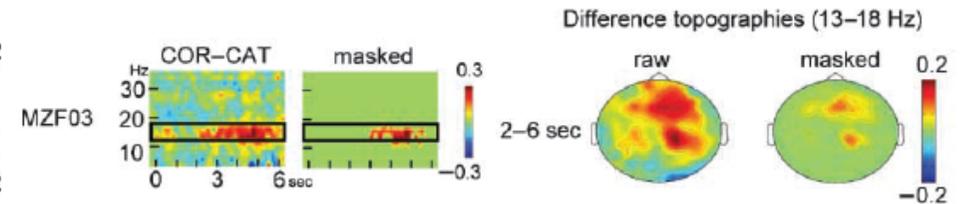
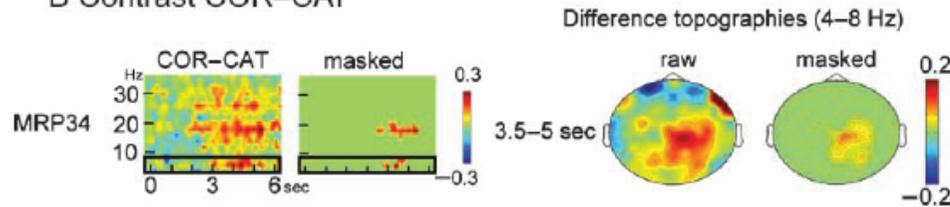
A Channel TFRs

A Channel TFRs



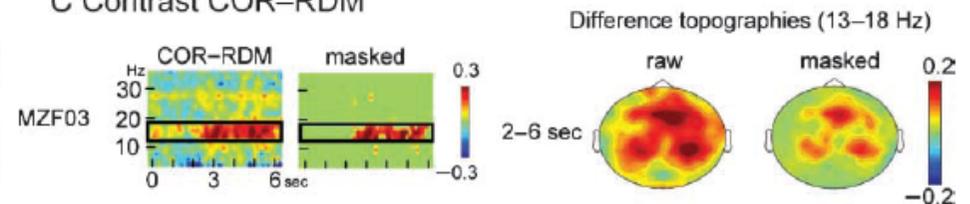
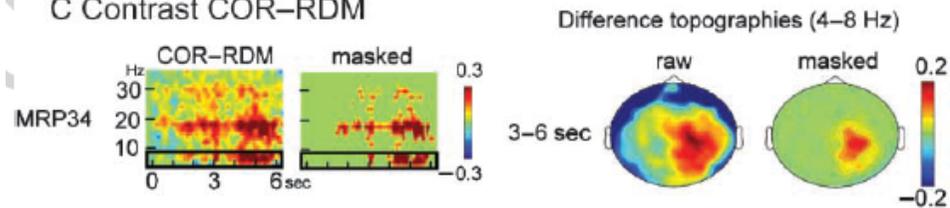
B Contrast COR-CAT

B Contrast COR-CAT



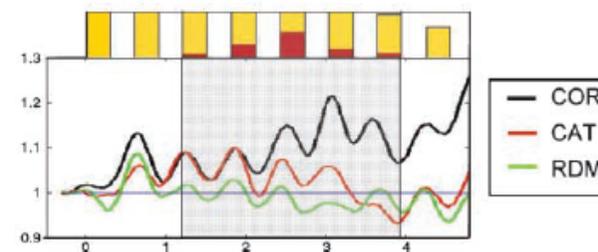
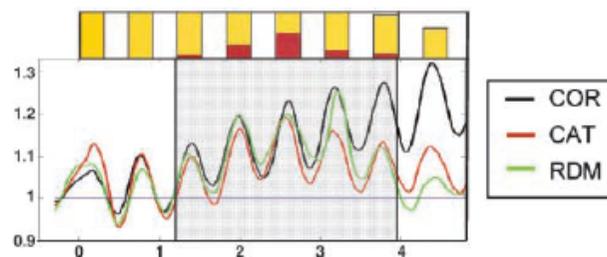
C Contrast COR-RDM

C Contrast COR-RDM



D Theta power time course

D Beta power time course

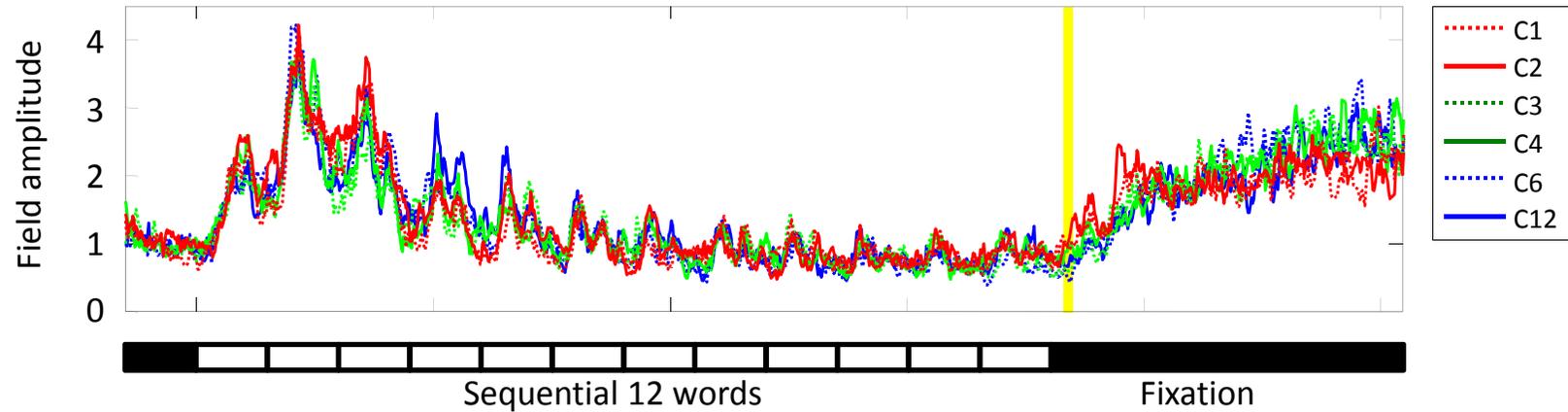


Une version en MEG de l'expérience de Pallier et al. (2010)

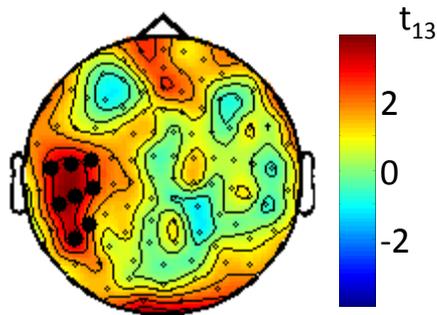
Masaki Maruyama, Stanislas Dehaene, Christophe Pallier et al., travaux non publiés

Potentiels évoqués tout au long de la phrase:

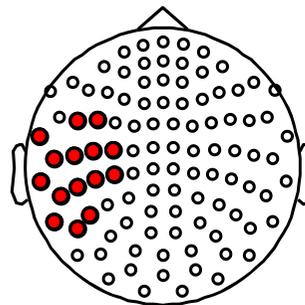
On observe une petite différence significative juste après la fin de la séquence de mots.



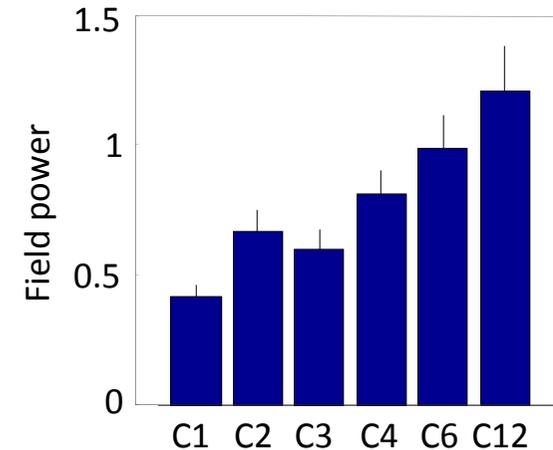
Topography of t-value for constituent size effect at 3.69 s



Sensor positions used for average

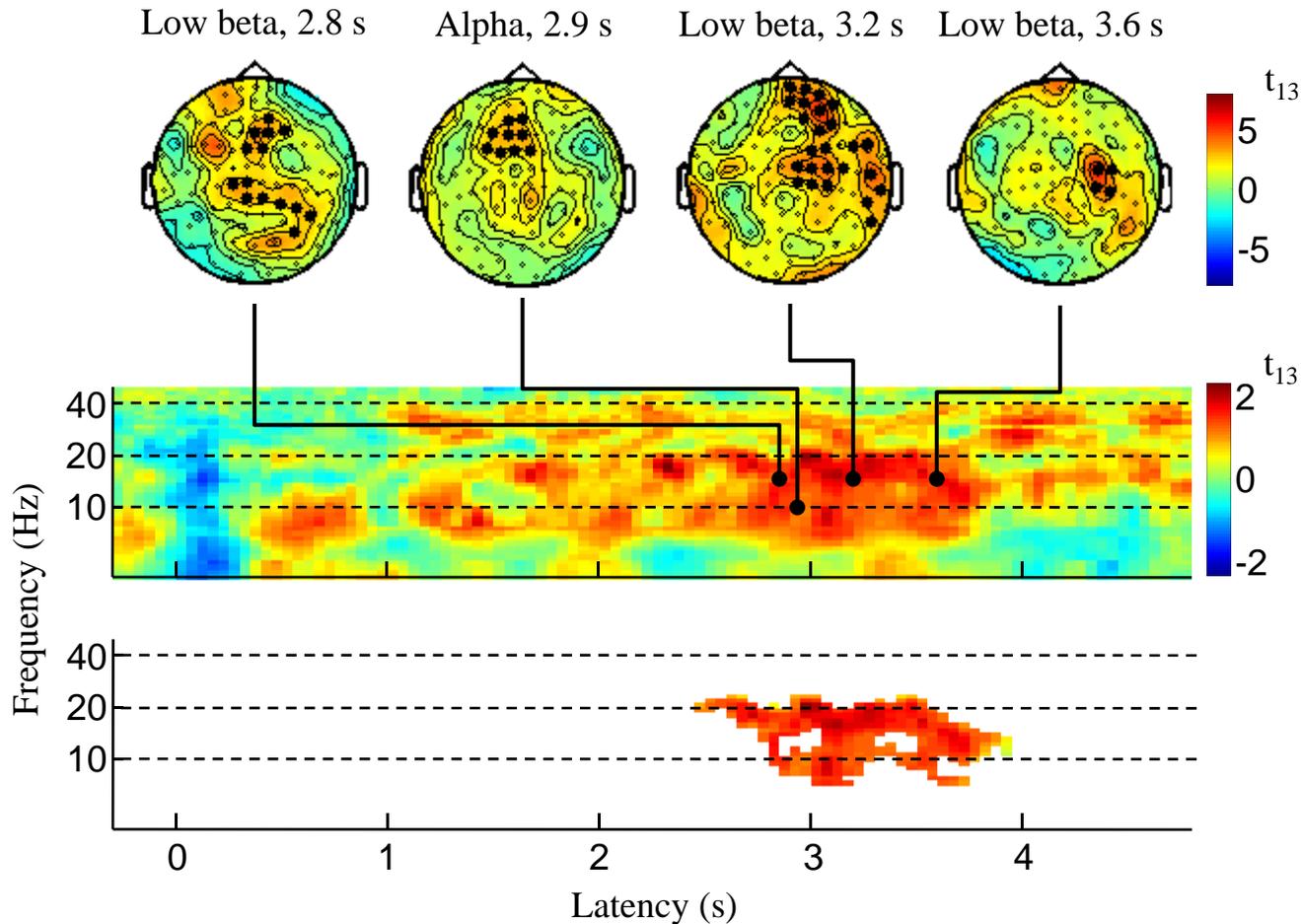


Averaged field power of significant cluster

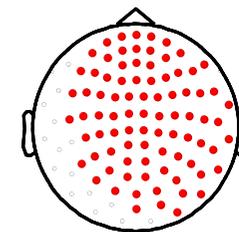


Comme chez Bastiaansen et al., nous observons une augmentation progressive de la puissance theta et beta.

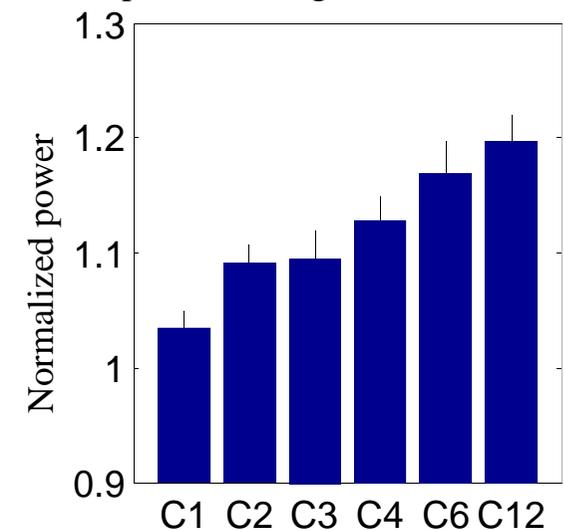
A. Topographies and time-frequency map of t-value of constituent size effect



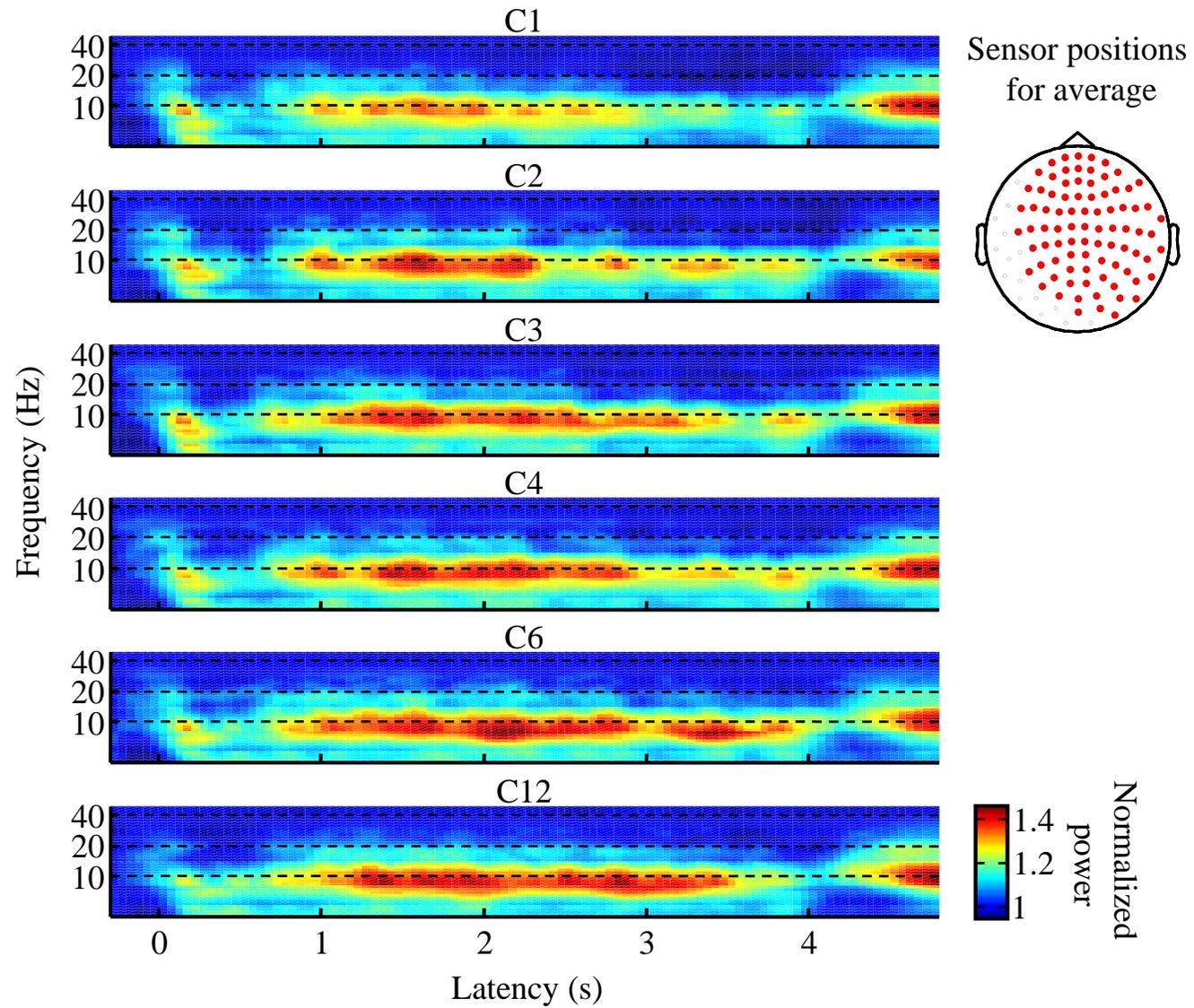
B. Sensor positions used for average



C. Averaged power of frequency components in significant cluster

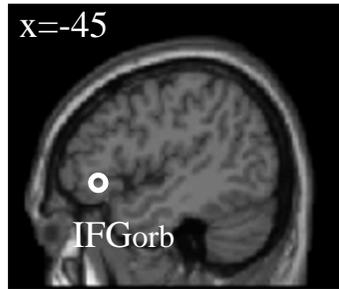


Evolution du spectre de puissance dans les 6 catégories de stimuli

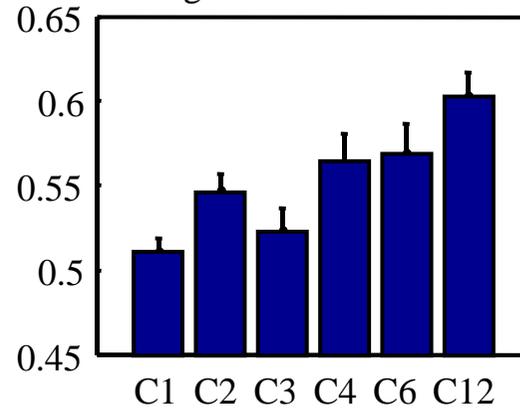


Au niveau des sources, une seule région d'intérêt montre un effet significatif

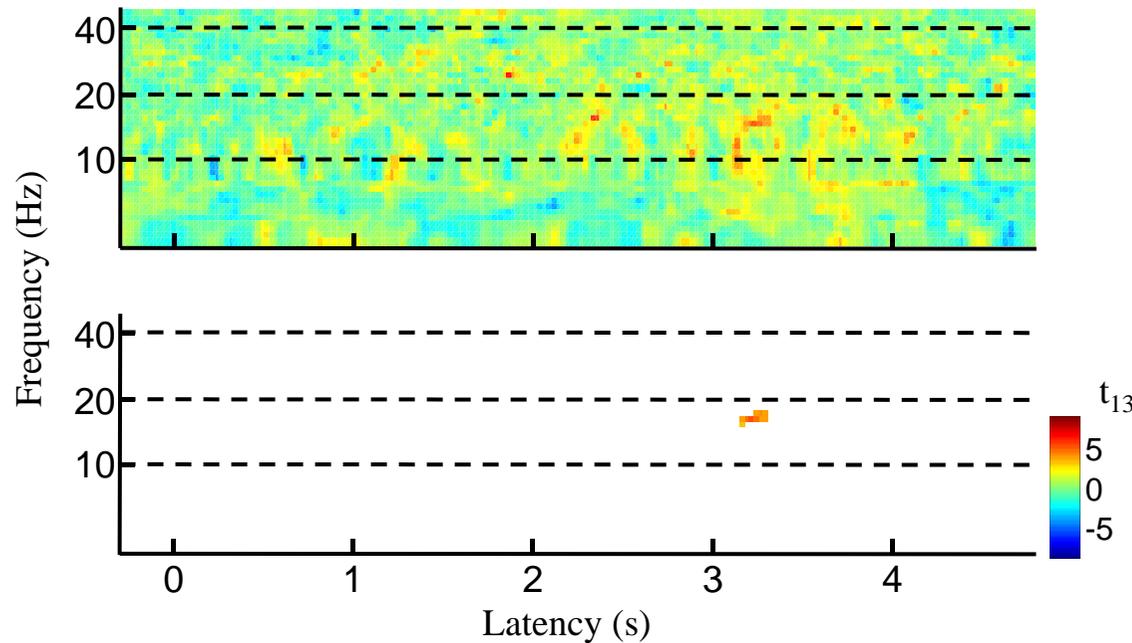
A. IFGorb derived from fMRI as linguistic region of interest



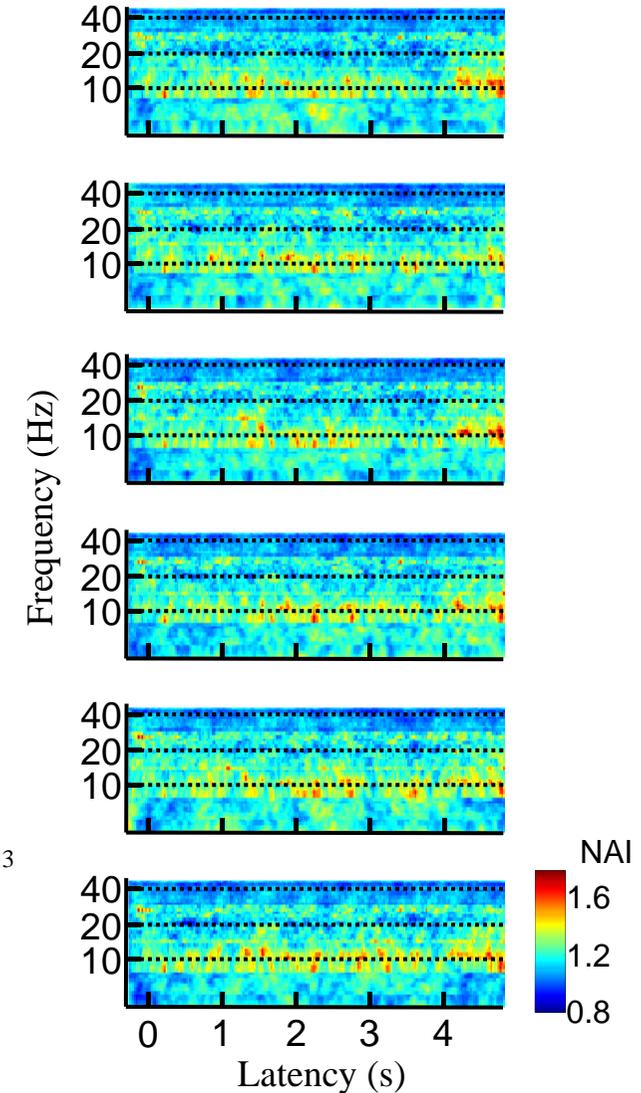
B. Field power averaged over times and frequencies within significant cluster



C. Time-frequency map of t-value in IFGorb



D. Time-frequency map of field power in IFGorb

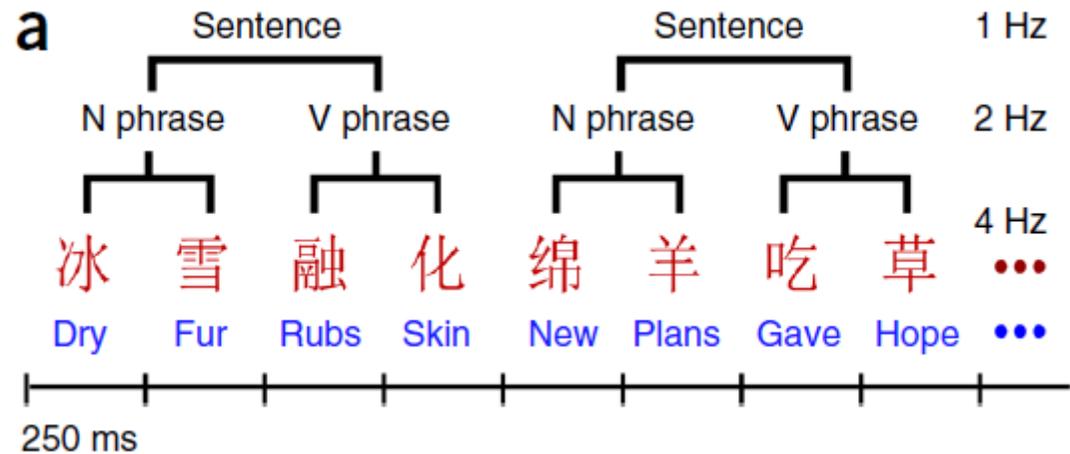


Une activation rythmique aux structures de la phrase

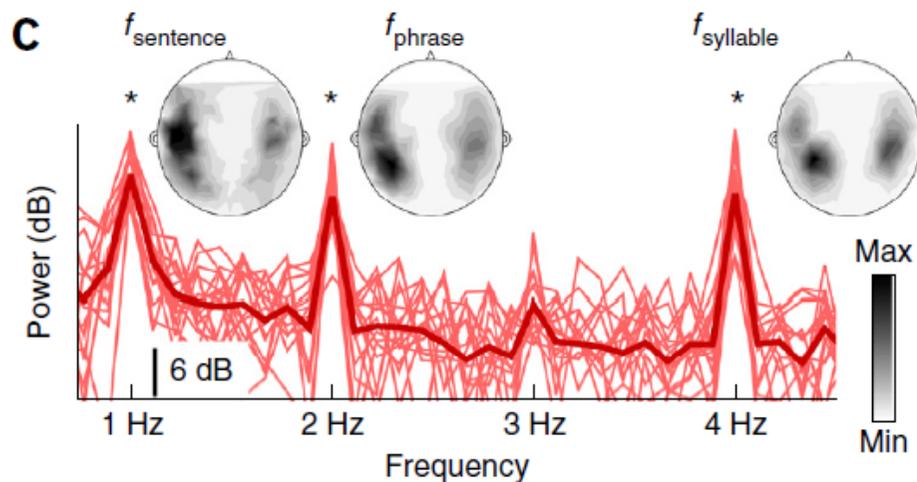
Ding, N., Melloni, L., Zhang, H., Tian, X., & Poeppel, D. (2015). Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nature Neuroscience*.

Enregistrement des réponses MEG à des séquences régulières de syllabes chinoises, dépourvues de prosodie, mais formant des structures de deux mots qui composent des phrases.

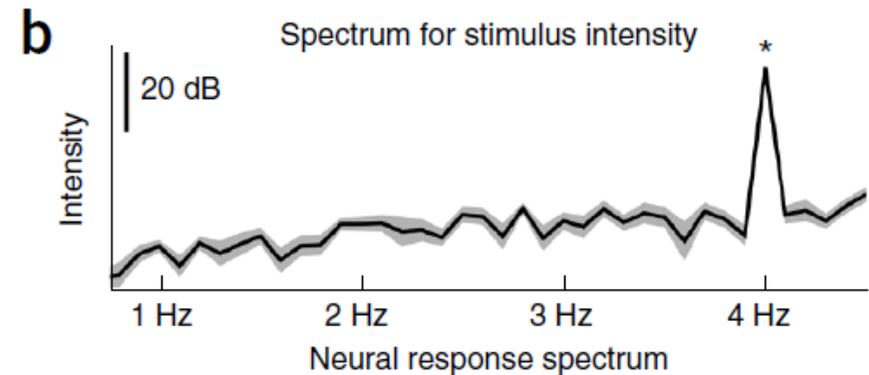
→ Réponses latéralisées avec des pics à la fréquence f , mais aussi $f/2$ et $f/4$



Spectre des réponses MEG



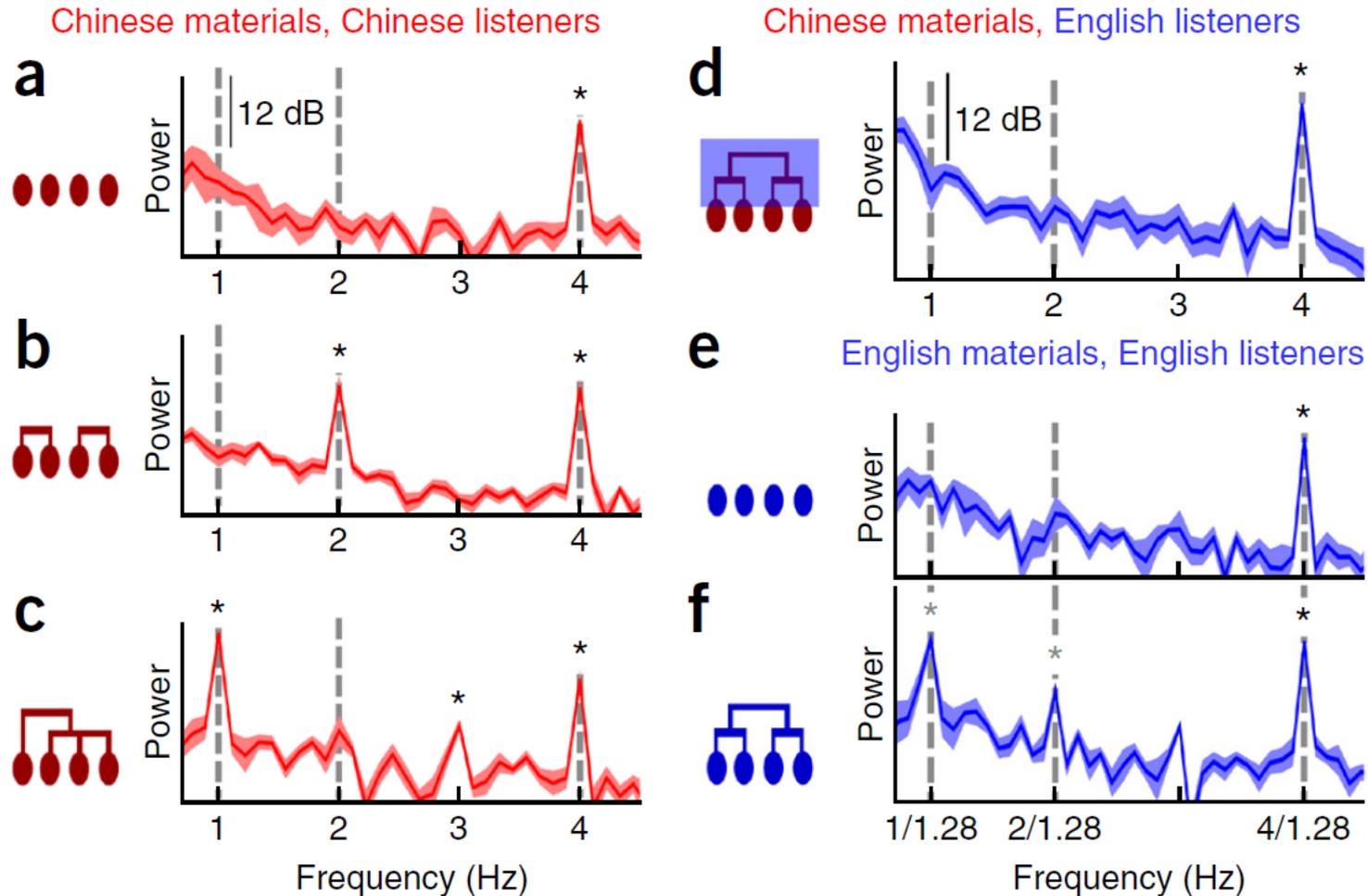
Spectre des stimuli acoustiques



Une activation rythmique aux structures de la phrase

Ding, N., Melloni, L., Zhang, H., Tian, X., & Poeppel, D. (2015). Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nature Neuroscience*.

Il ne s'agit pas simplement de sous-harmoniques: cette organisation temporelle varie systématiquement selon la structure des constituants et leur compréhensibilité.



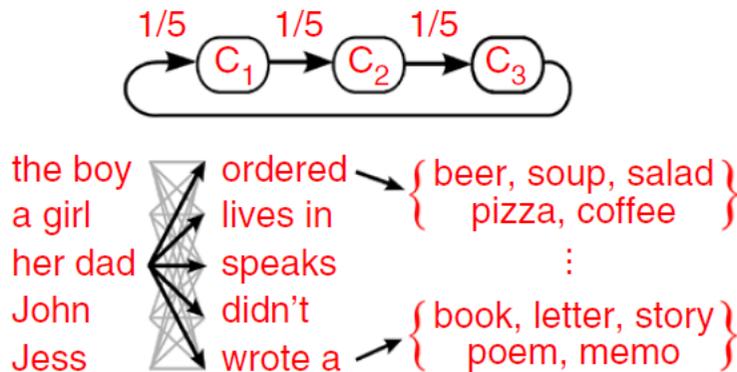
Une activation rythmique aux structures de la phrase

Ding, N., Melloni, L., Zhang, H., Tian, X., & Poeppel, D. (2015). Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nature Neuroscience*.

Tentative de contrôle des probabilités de transition: Création de deux ensembles de phrases:
 (a) probabilité fixe (b) probabilité élevée au sein des phrases, basse entre les phrases.

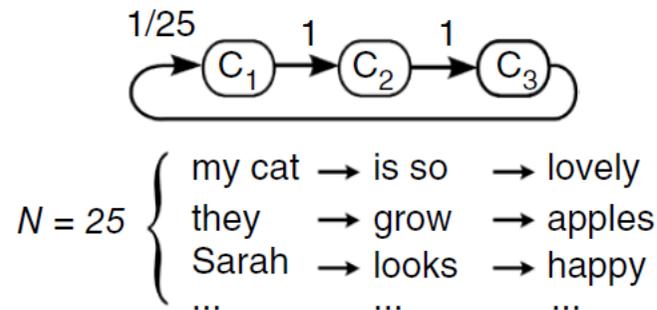
→ Les réponses ne dépendent pas des probabilités de transition au sein d'un bloc de stimuli.
 (Noter cependant que la probabilité réelle au sein de la langue naturelle n'est pas manipulée).

a Constant transitional probability

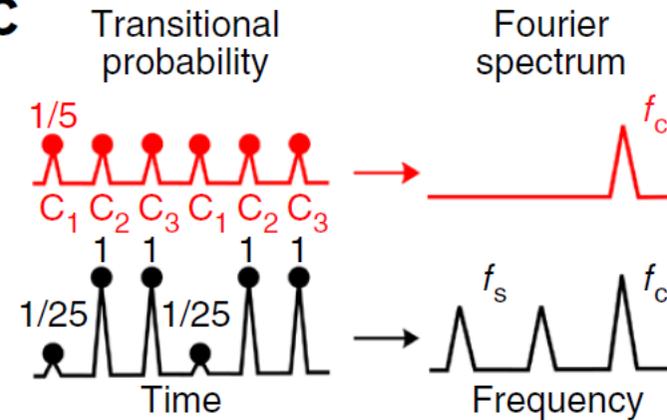


b

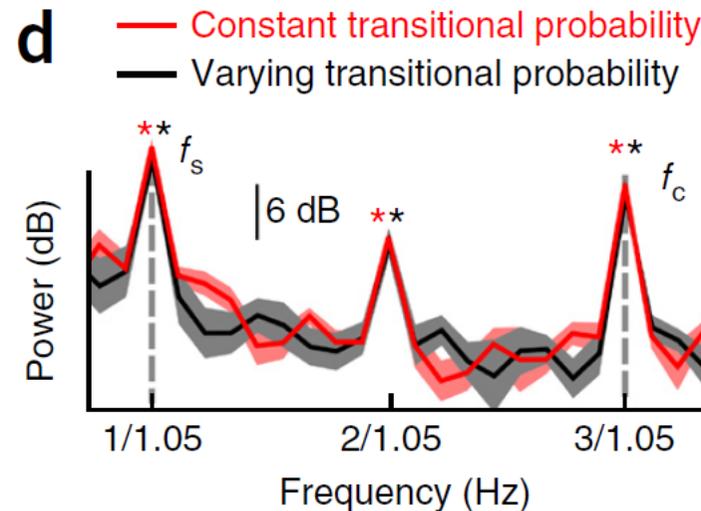
Varying transitional probability



c



d

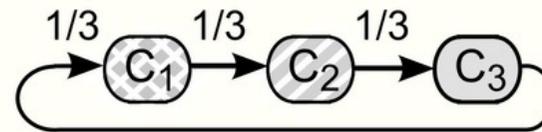


Une activation rythmique aux structures de la phrase

Ding, N., Melloni, L., Zhang, H., Tian, X., & Poeppel, D. (2015). Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nature Neuroscience*.

Un meilleur contrôle pour les probabilités de transition: apprentissage d'une grammaire artificielle formée de 3 x 3 mots.

a Grammar of the artificial markovian sentences



b Experimental procedures

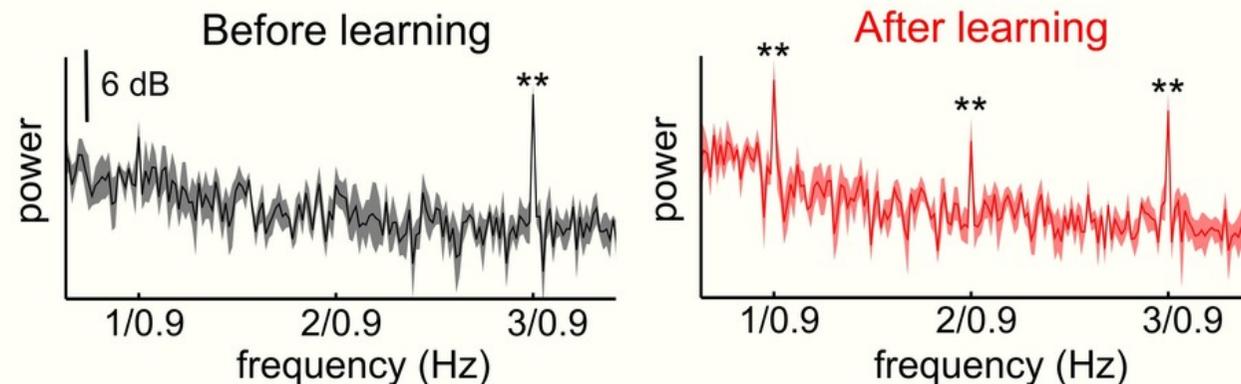
$S^1 S^2 S^3 S^4 S^5$

$T^1 S^1 T^2 S^2 T^3 S^3 T^4 S^4 T^5 S^5$

S^k : Stimulus for AMS set k

T^k : Training session for AMS set k

c Neural responses to artificial markovian sentences



Une activation rythmique aux structures de la phrase

Ding, N., Melloni, L., Zhang, H., Tian, X., & Poeppel, D. (2015). Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nature Neuroscience*.

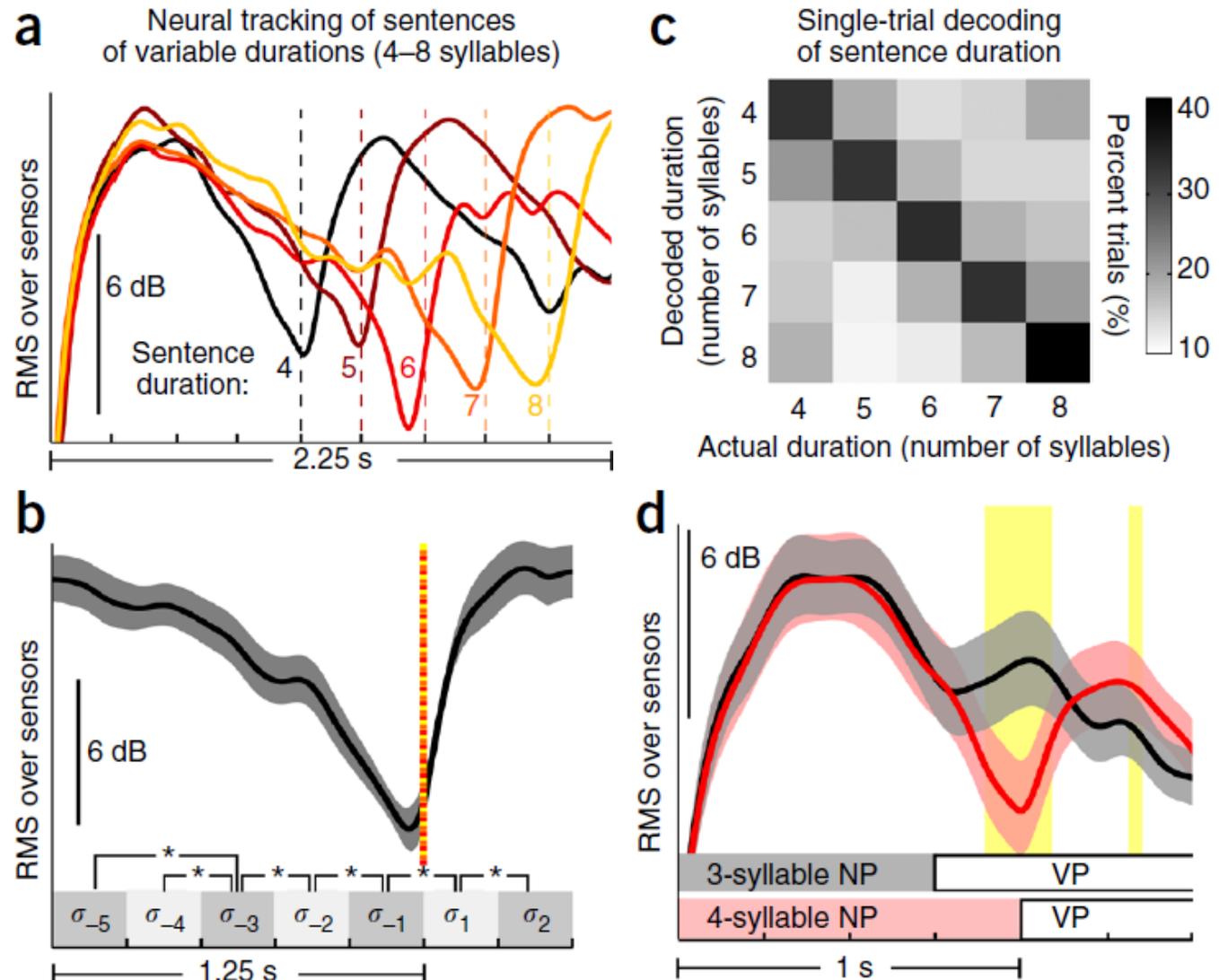
Que se passe-t-il dans le domaine temporel?

Présentation (toujours mot à mot) de phrases de durée variables (4 à 8 mots).

(a,b) L'enveloppe des réponses MEG augmente au début de la phrase, puis décroît et atteint un minimum à la fin de la phrase.

(c) La réponse MEG permet de décoder la durée des phrases.

(d) L'enveloppe des réponses MEG reflète également la durée du syntagme nominal en début de phrase.

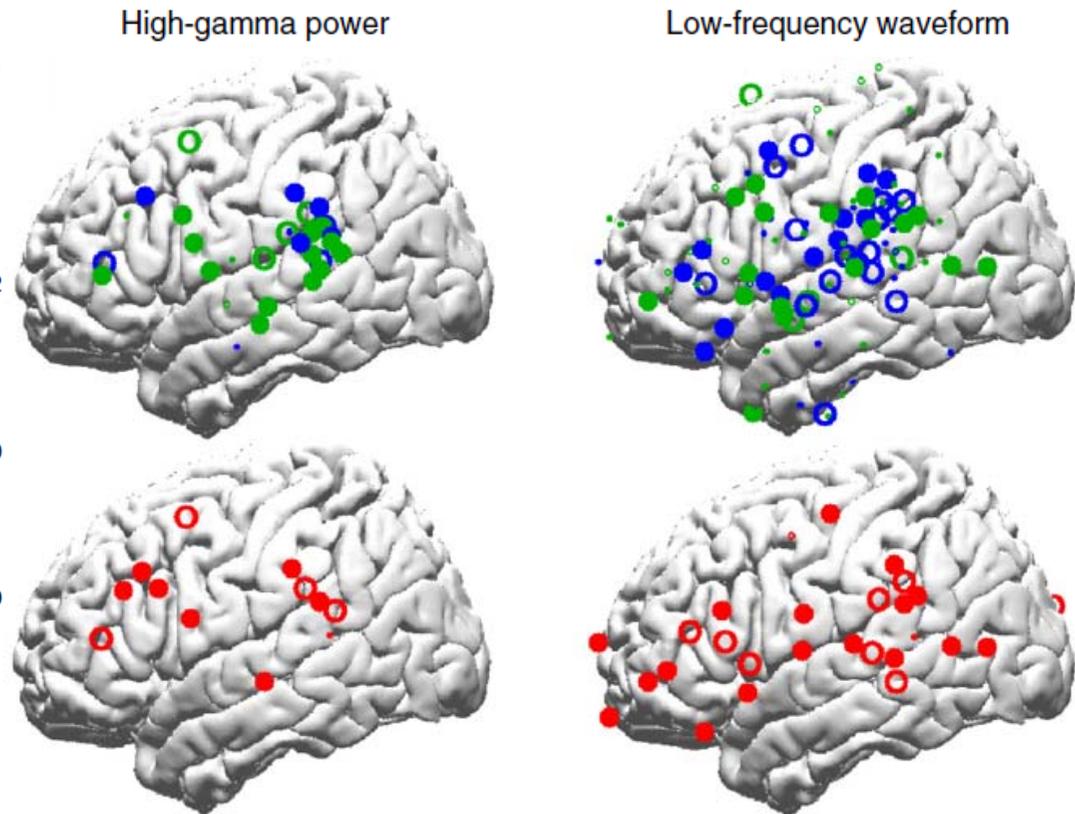
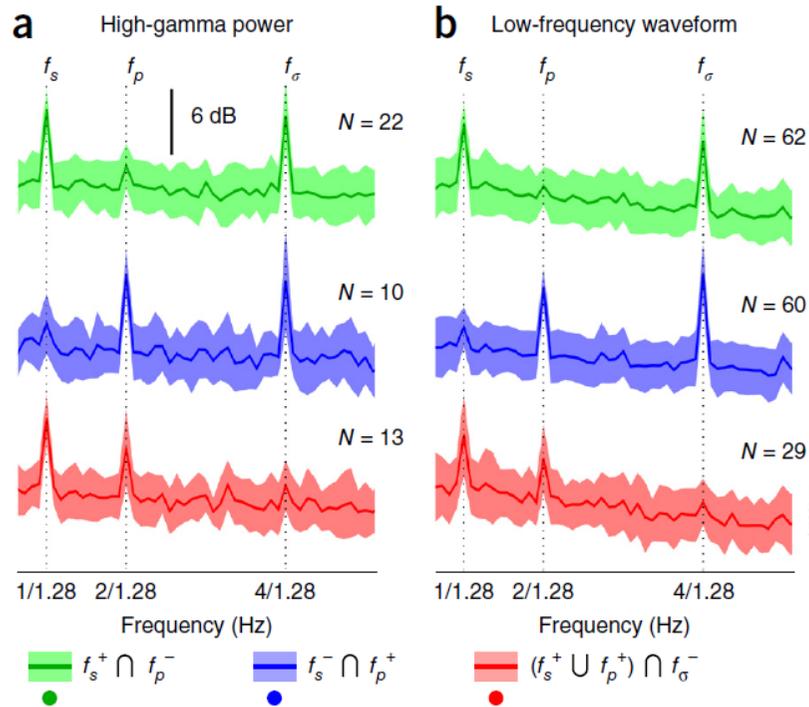


Une activation rythmique aux structures de la phrase

Ding, N., Melloni, L., Zhang, H., Tian, X., & Poeppel, D. (2015). Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nature Neuroscience*.

Localisation fine fondée sur l'utilisation d'électrodes intracrâniennes chez 5 patients épileptiques.

Des électrodes partiellement différentes répondent au rythme du syntagme et de la phrase entière.



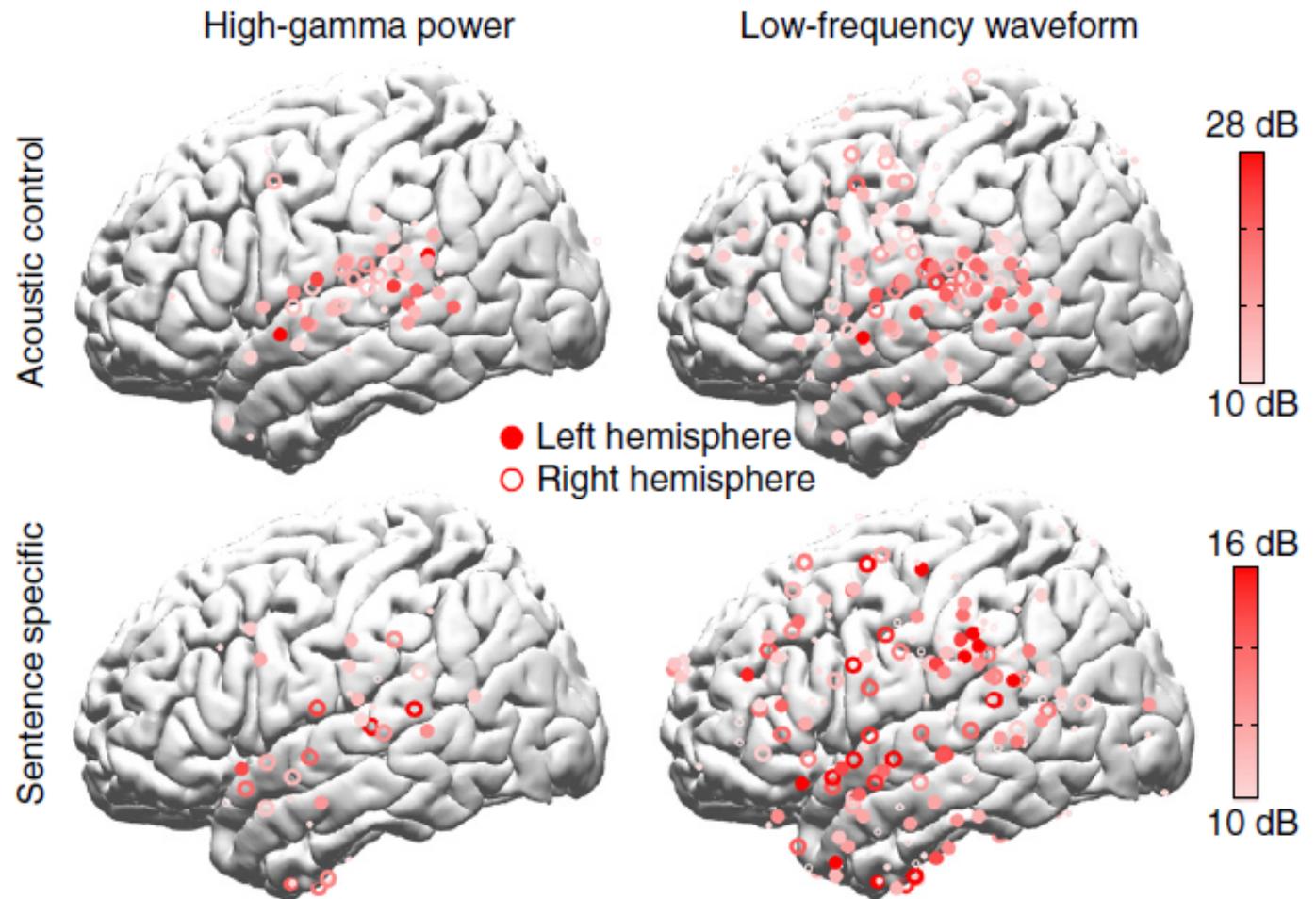
Les résultats diffèrent selon que l'on considère l'enveloppe des réponses gamma (à gauche) ou les réponses de basse fréquence (à droite).

Une activation rythmique aux structures de la phrase

Ding, N., Melloni, L., Zhang, H., Tian, X., & Poeppel, D. (2015). Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nature Neuroscience*.

Localisation des réponses au rythme syllabique, selon qu'il s'agisse d'une phrase bien formée (en bas) ou d'un mélange aléatoire des mêmes syllabes, sans signification globale.

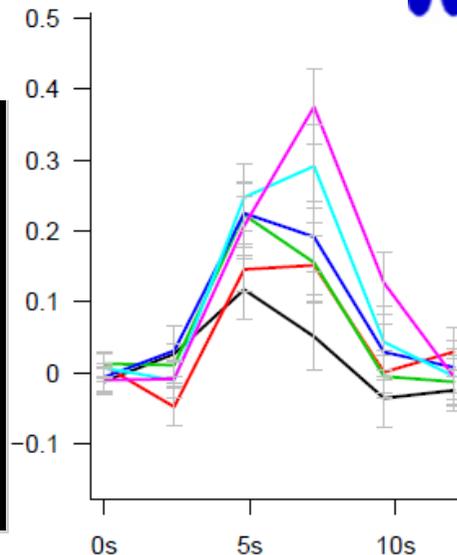
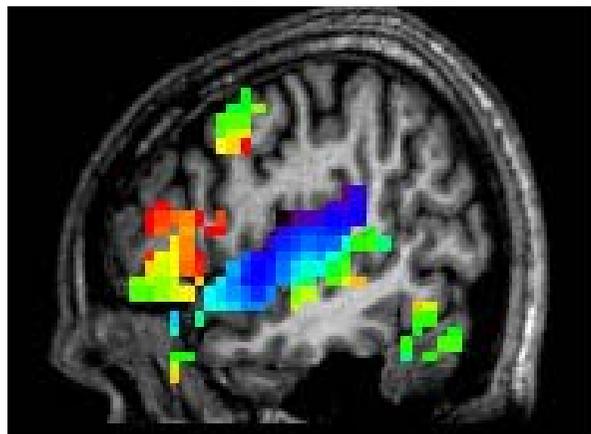
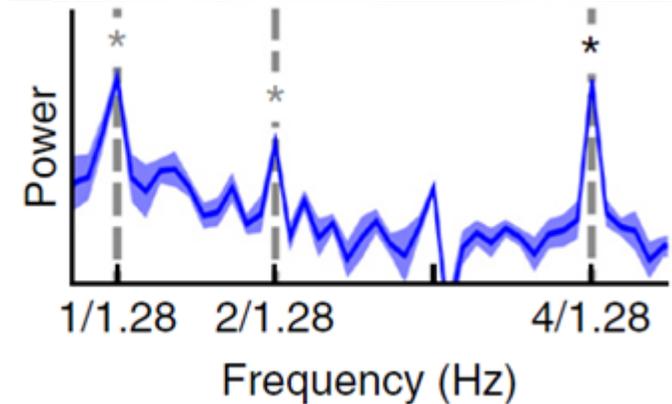
La réponse aux mots envahit des régions supplémentaires (sillon temporal supérieur, gyrus temporal moyen, pôle temporal, cortex préfrontal inférieur et dorsolatéral).



Conclusion: la dynamique de l'unification

- Réalité indéniable d'un codage hiérarchique sous forme de syntagmes enchâssés
- Ces structures imposent des rythmes (ou poly-rythmes) qui se reflètent directement dans les rythmes de l'activité cérébrale.
- Différentes régions du cortex pourraient être « accordées » à des objets linguistiques de taille différente
- Lorsque nous comprenons une phrase, notre cerveau **accumule**, à une vitesse assez lente, une série d'informations dans les aires du langage

Jabberwocky and normal prose
 Increase only for normal prose



Beta power time course

