

**Cours 2016-2017:**

**Parole, musique, mathématiques :  
Les langages du cerveau**

Stanislas Dehaene  
Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Cours n°2

**Modularité et traitement non-conscient  
des structures linguistiques**

## Le traitement du langage est-il organisé de façon « modulaire » ?

Le « noyau » des aires du langage vérifie plusieurs critères de **modularité** (Fodor, 1983):

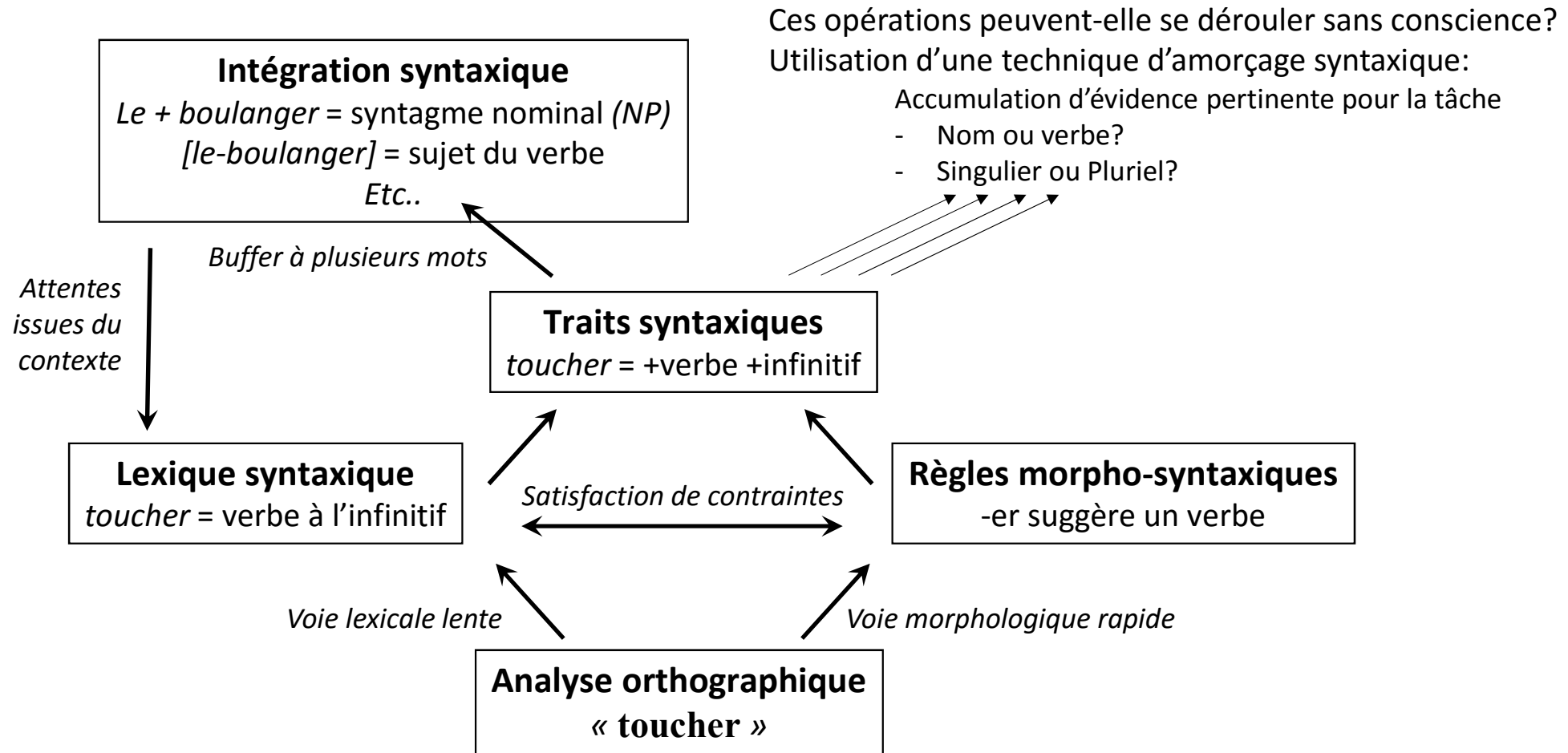
- **Architecture neurale fixe et reproductible** d'un individu à l'autre.
  - connexions anatomiques et récepteurs spécifiques
- **Développement rapide et propre à l'espèce humaine** (propriétés du *language acquisition device* postulé par Chomsky)
- **Spécialisation pour le langage** (par opposition au système « horizontal » ou « isotrope » qui intervient dans de multiples domaines cognitifs)
- **« Encapsulation » des informations :**
  - le cœur du réseau ne traite qu'une fraction de l'information disponible
  - Par exemple, il répond de façon identique à des phrases normales et en « Jabberwocky » (dont on a supprimé les informations sémantiques).
- **Traitement automatique, inaccessible à la conscience**

Questions pour le cours d'aujourd'hui

- Quelles opérations syntaxiques peuvent se dérouler avec ou sans conscience?
- Le réseau ne répond-il qu'à la syntaxe du langage?

# Un modèle des premières étapes de traitement syntaxique

Lucie Berkovitch et Stanislas Dehaene, article soumis

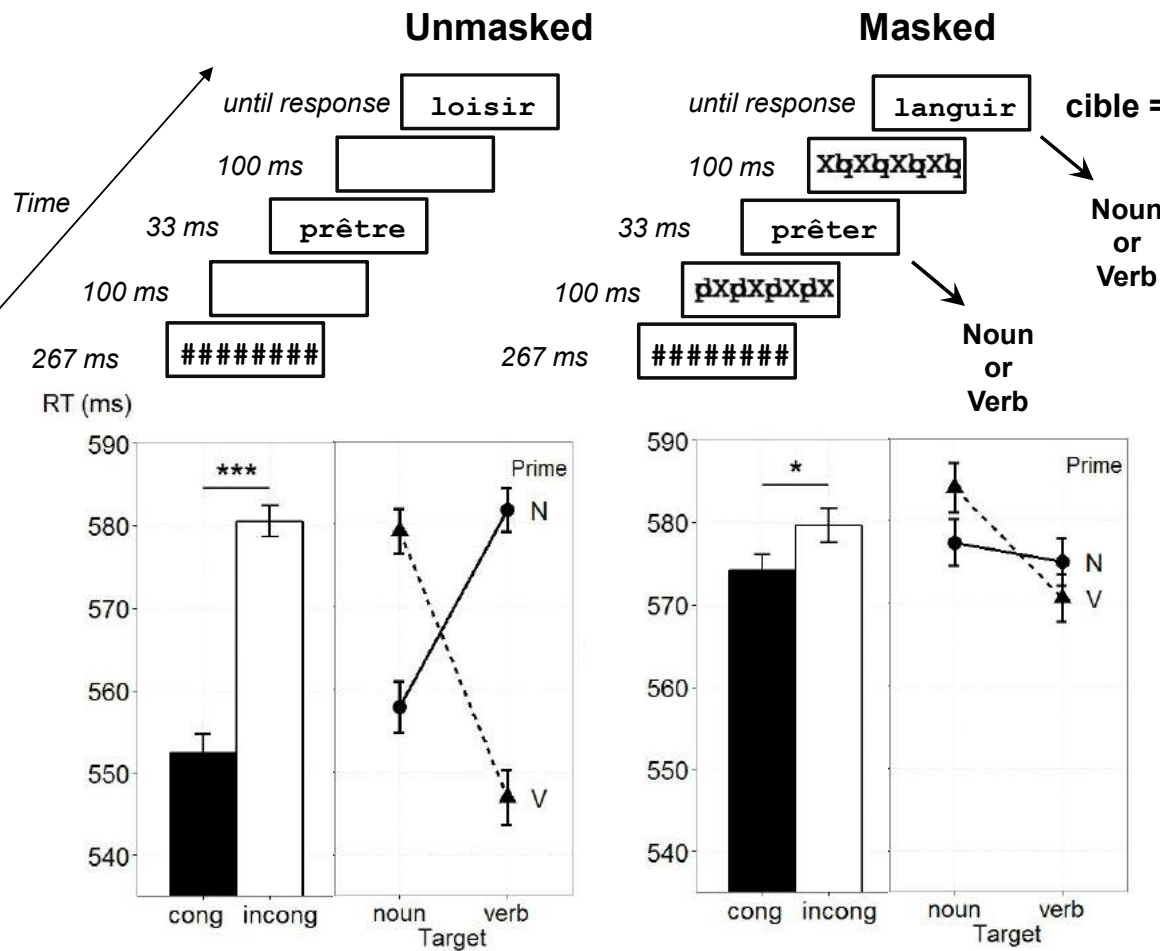


« ...Le boulanger va toucher le chèque du boucher... »

# Certains traits syntaxiques peuvent-ils être activés non-consciemment?

Lucie Berkovitch et Stanislas Dehaene, article soumis

Expérience 1. Est-il possible d'amorcer une catégorie grammaticale: Nom → Nom ? Verbe → Verbe



# Certains traits syntaxiques peuvent-ils être activés non-consciemment?

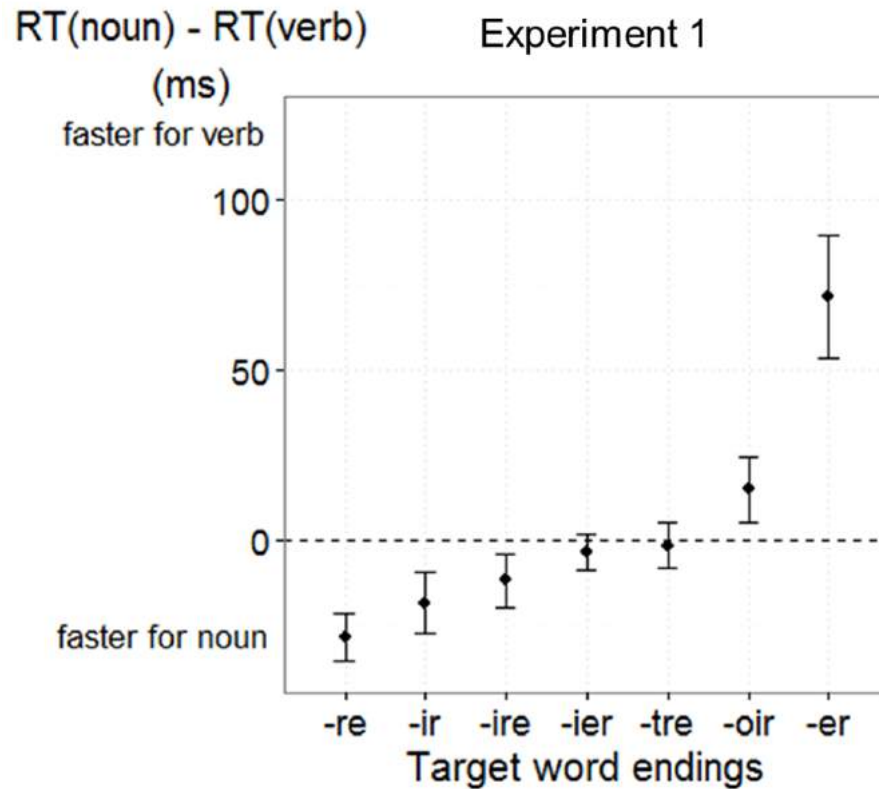
Lucie Berkovitch et Stanislas Dehaene, article soumis

On observe également un effet de la terminaison de la **cible**:

Certaines terminaisons favorisent la réponse « verbe », d'autres la réponse « nom ».

Par contre, cet effet n'est pas observé au niveau des mots amorces.

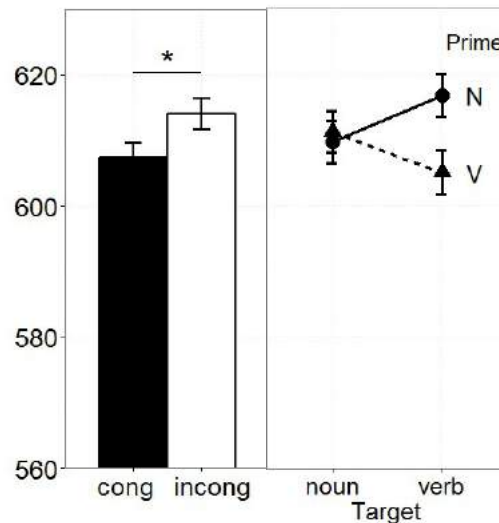
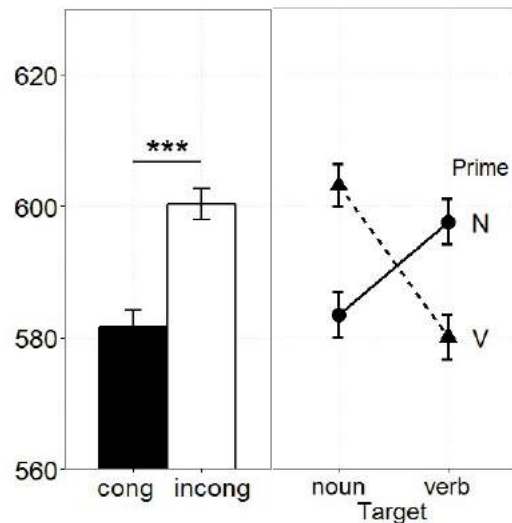
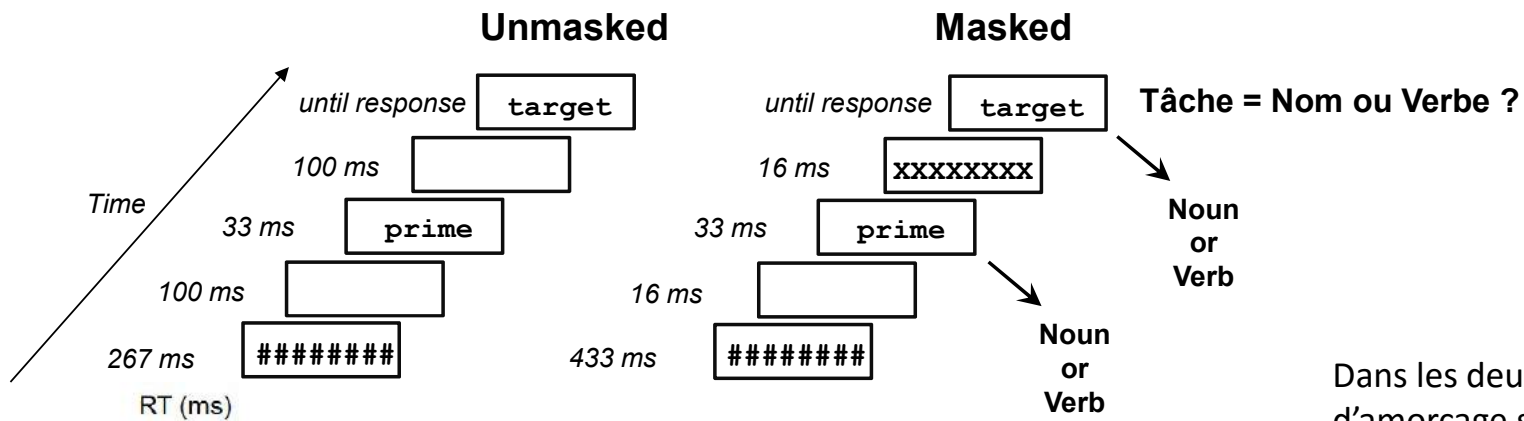
Se pourrait-il que le délai en l'amorce et la cible soit trop long (133 ms), en sorte que l'effet lexical domine sur l'effet de terminaison?



# Certains traits syntaxiques peuvent-ils être activés non-consciemment?

Lucie Berkovitch et Stanislas Dehaene, article soumis

Expérience 2. Réplication en raccourcissant le délai entre l'amorce et la cible.



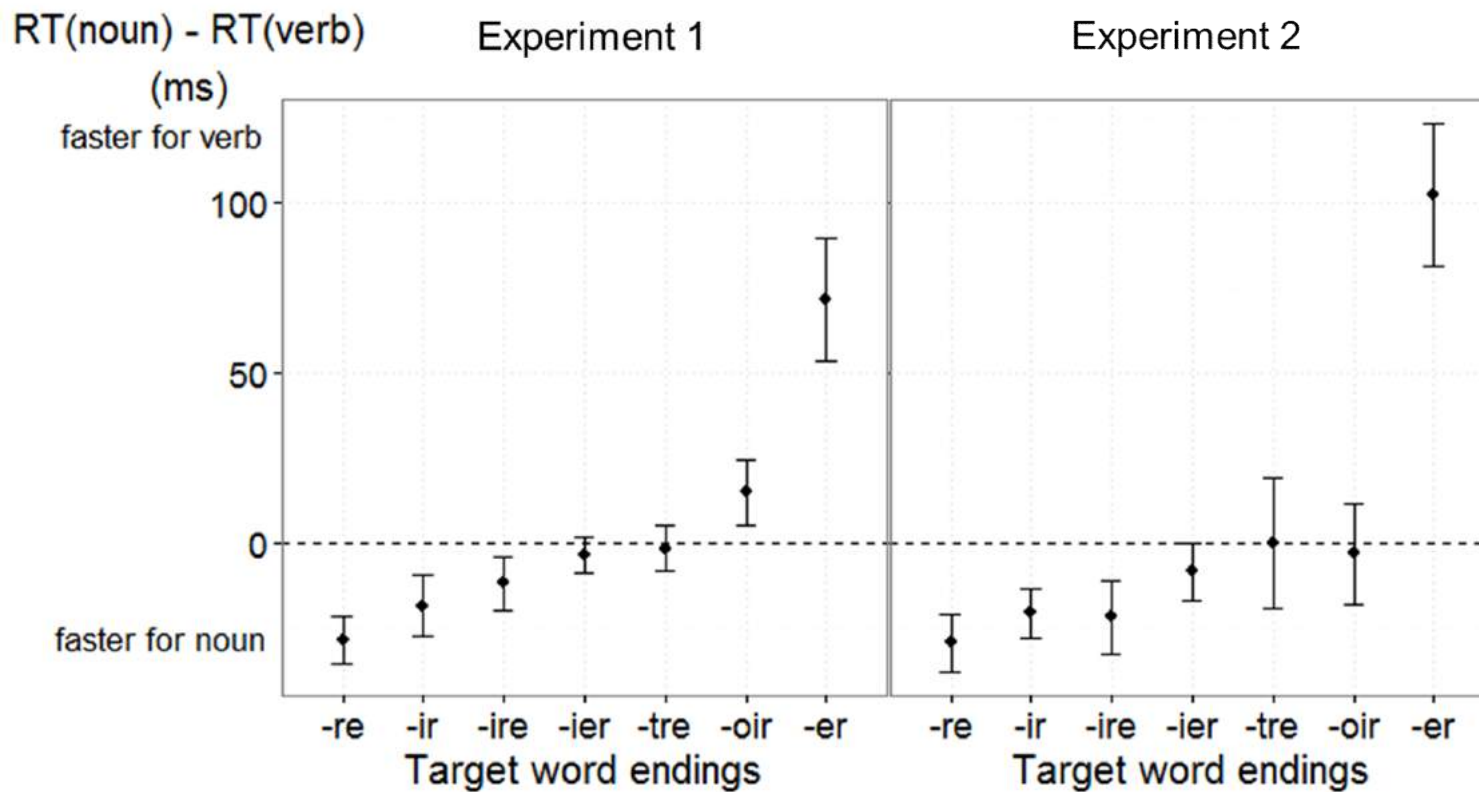
Dans les deux expériences, les effets d'amorçage sont présents aussi bien dans la condition consciente (29 et 18 ms) que dans la condition non-consciente (6 et 7 ms).

# Certains traits syntaxiques peuvent-ils être activés non-consciemment?

Lucie Berkovitch et Stanislas Dehaene, article soumis

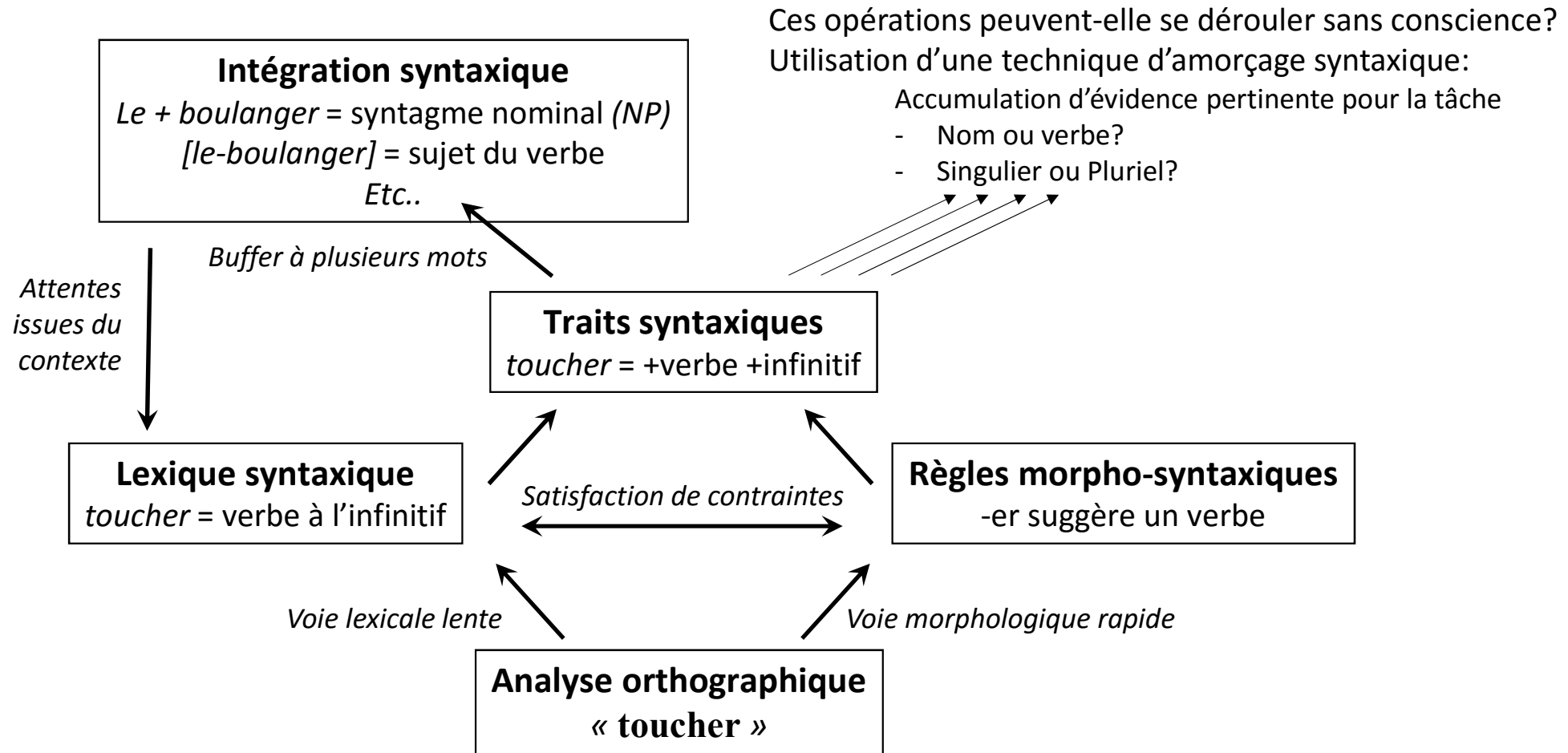
Réplication de l'effet de la terminaison de la **cible**.

Dans l'expérience 2, avec un SOA plus court, cet effet est également observé pour les **amorces** (globalement pour les essais non-conscients, uniquement pour les réponses rapides pour les essais conscients). Par exemple, les amorces qui se terminent en « er » amorcent non-consciemment la réponse « verbe », même si le mot n'est pas un verbe (« dentier »).



# Un modèle des premières étapes de traitement syntaxique

Lucie Berkovitch et Stanislas Dehaene, article soumis



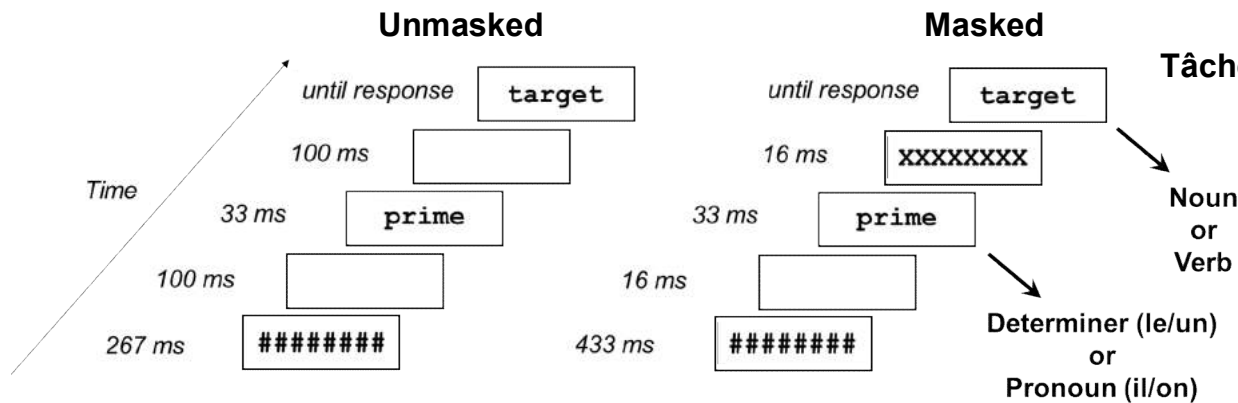
« ...Le boulanger va toucher le chèque du boucher... »



# Certains traits syntaxiques peuvent-ils être activés non-consciemment?

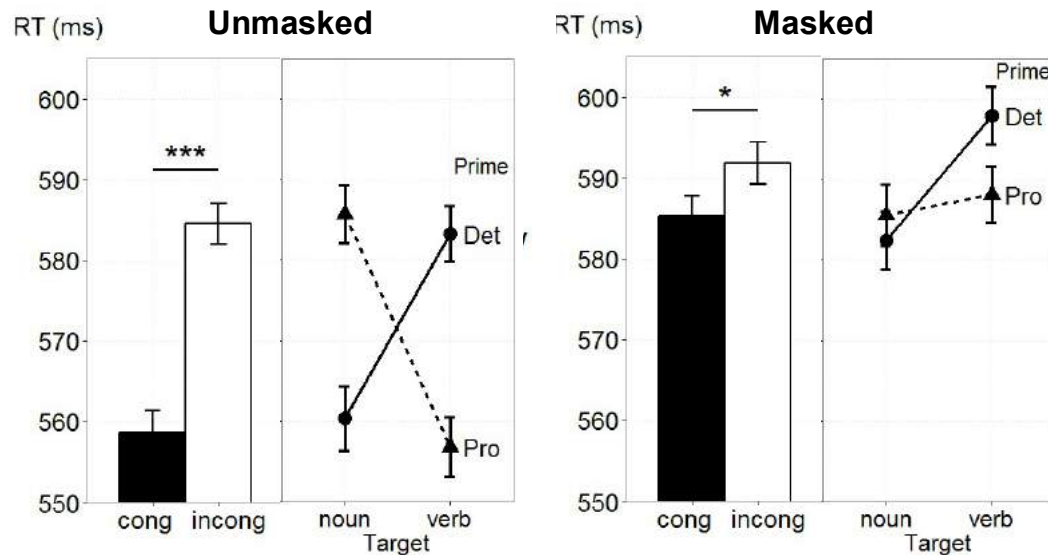
Lucie Berkovitch et Stanislas Dehaene, article soumis

Expérience 3: L'amorçage est-il entièrement dû à la tâche de décision nom-verbe, que le sujet appliquerait non-consciemment à l'amorce? A la recherche d'un vrai effet d'amorçage syntaxique: Det+N ou Pronom-V



Précautions méthodologiques:

- Les verbes sont à présent conjugués, et toujours appariés aux noms sur le plan orthographique (e.g. il dort ; le sport ; vs le dort; il sport).
- Les verbes transitifs directs sont exclus, car certaines transitions deviendraient légales en français (« le mange »).
- Les amorces sont différentes dans les essais conscients et non-conscients  
Par exemple, un sujet reçoit « le » et « on » dans les essais conscients, et « il » et « un » dans les essais non-conscients.



Résultat: effet d'amorçage syntaxique de 26 ms en conscient et de 7 ms en non-conscient.

# L'effet d'amorçage est-il dû à la probabilité de transition ?

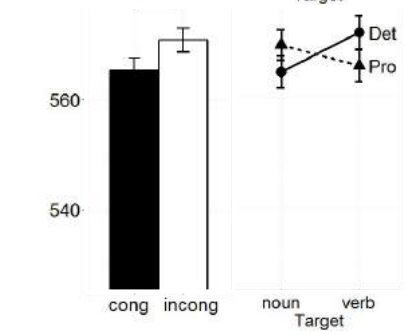
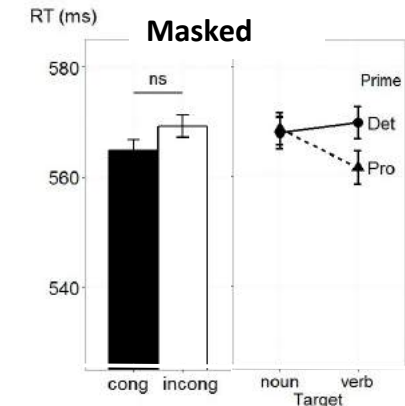
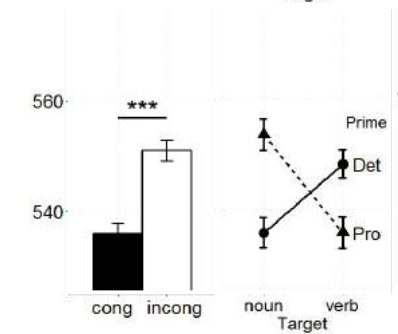
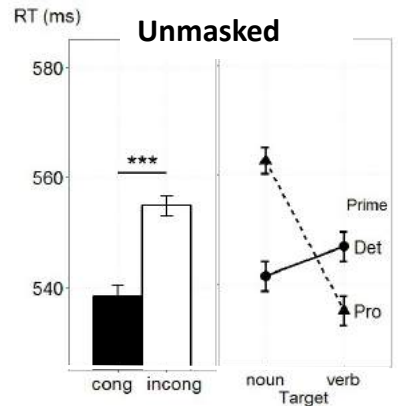
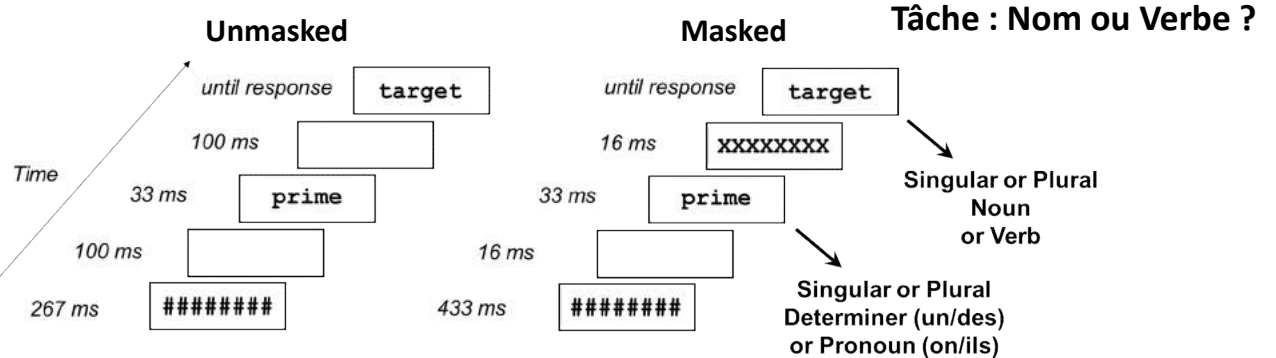
Lucie Berkovitch et Stanislas Dehaene, article soumis

L'expérience précédente pourrait s'expliquer par une violation des probabilités de transition entre les mots, et non entre les catégories syntaxiques.

Expérience 4: Présentation de séquences agrammaticales avec violation de l'accord en nombre (e.g. des stade; ils tarde; versus des tarde; ils stade).

**Amorçage syntaxique quand l'accord en nombre est respecté:**  
**Ex. ils chavirent un navire**

**Amorçage syntaxique quand l'accord en nombre est violé:**  
**Ex. ils chavire un navires**



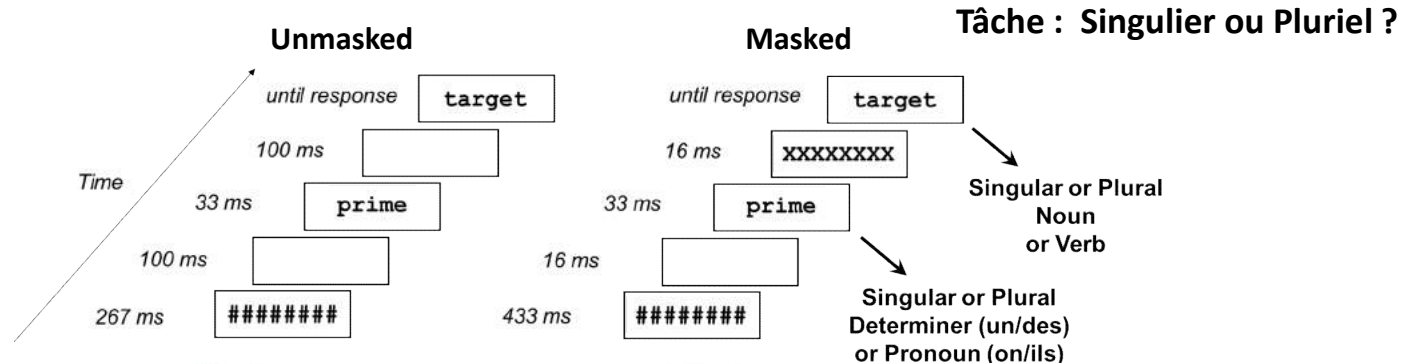
L'accord en nombre lui-même n'affecte pas les réponses.

**Conclusion:**  
 L'amorçage par catégorie syntaxique (det-nom et pronom-verbe) continue d'être présent, indépendamment de l'accord en nombre.

# Peut-on amorcer sélectivement un trait syntaxique: singulier/pluriel?

Lucie Berkovitch et Stanislas Dehaene, article soumis

Expérience 5: Inversement, peut-on amorcer le trait grammatical de nombre, indépendamment de la catégorie grammaticale?  
 → Stimuli identiques, seule change la tâche.

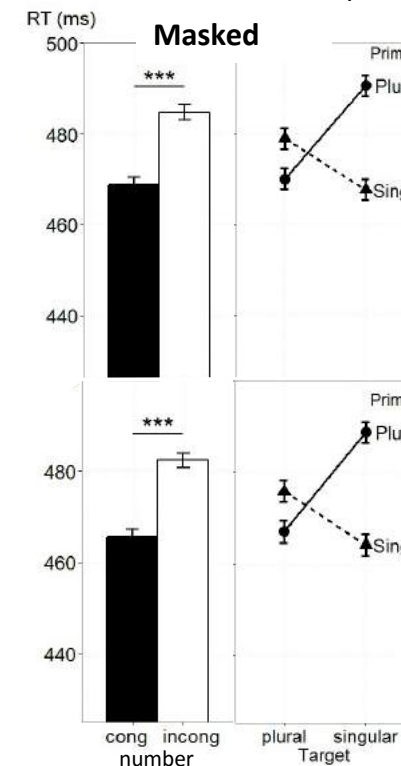
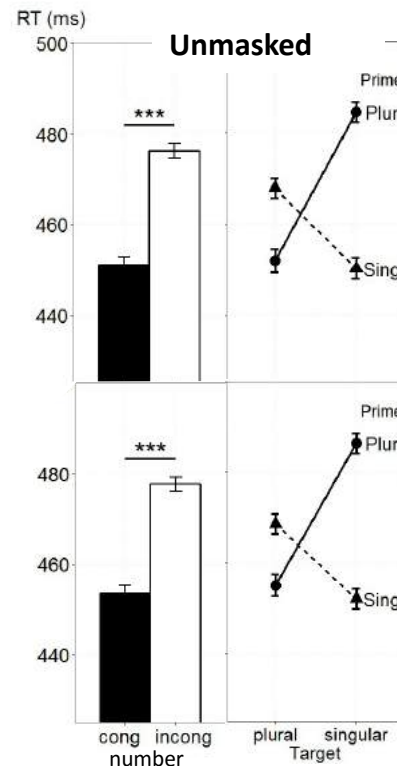


**Amorçage par le nombre, quand la syntaxe est correcte.**

Ex. ils chavirent un navire

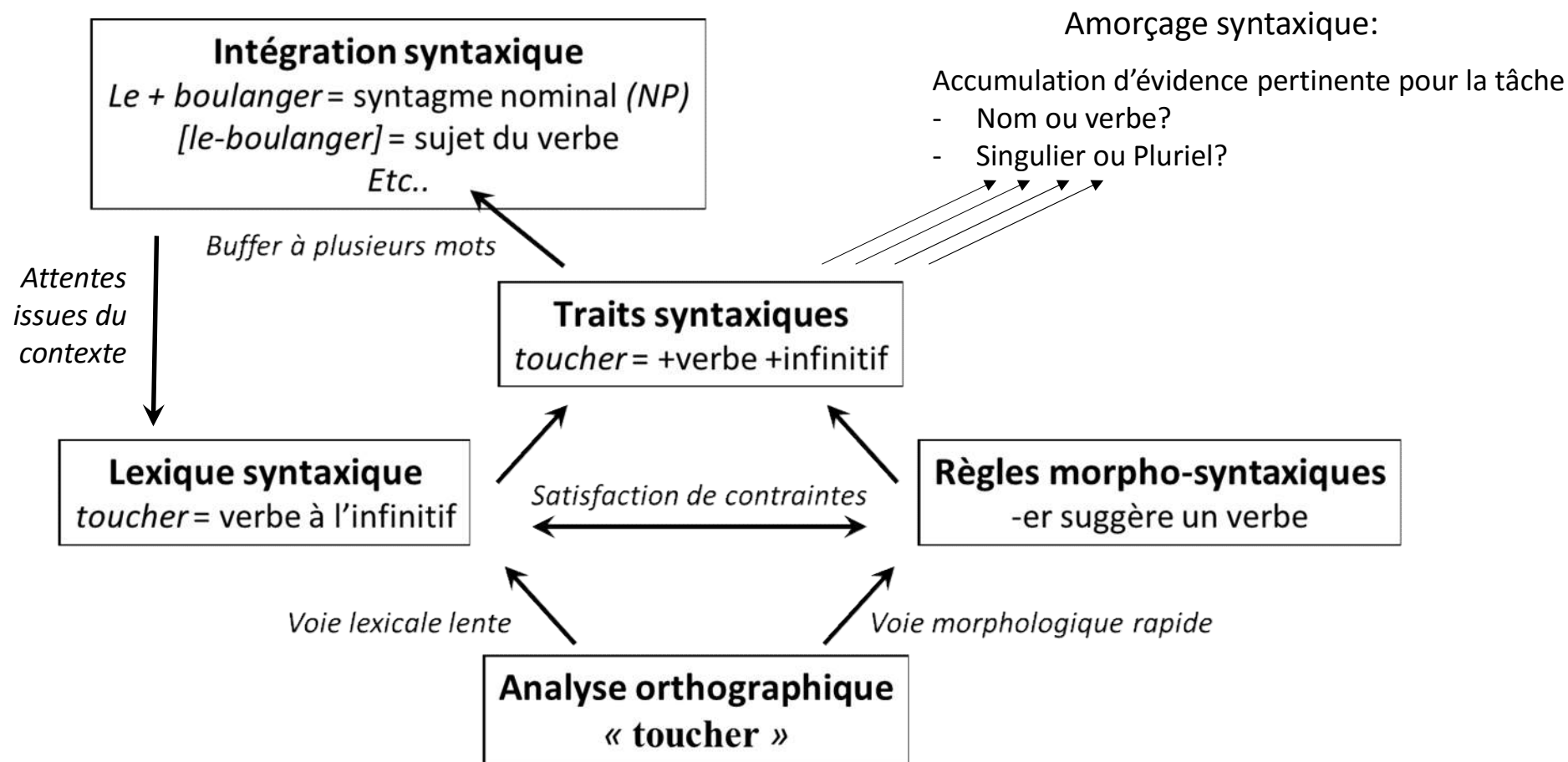
**Amorçage par le nombre, quand la syntaxe est incorrecte.**

Ex. des chavirent on navire



Conclusion: existence de traits syntaxiques (singulier, pluriel) qui sont partagés par des mots de catégories très différentes, et qui peuvent être amorcés non-consciemment.

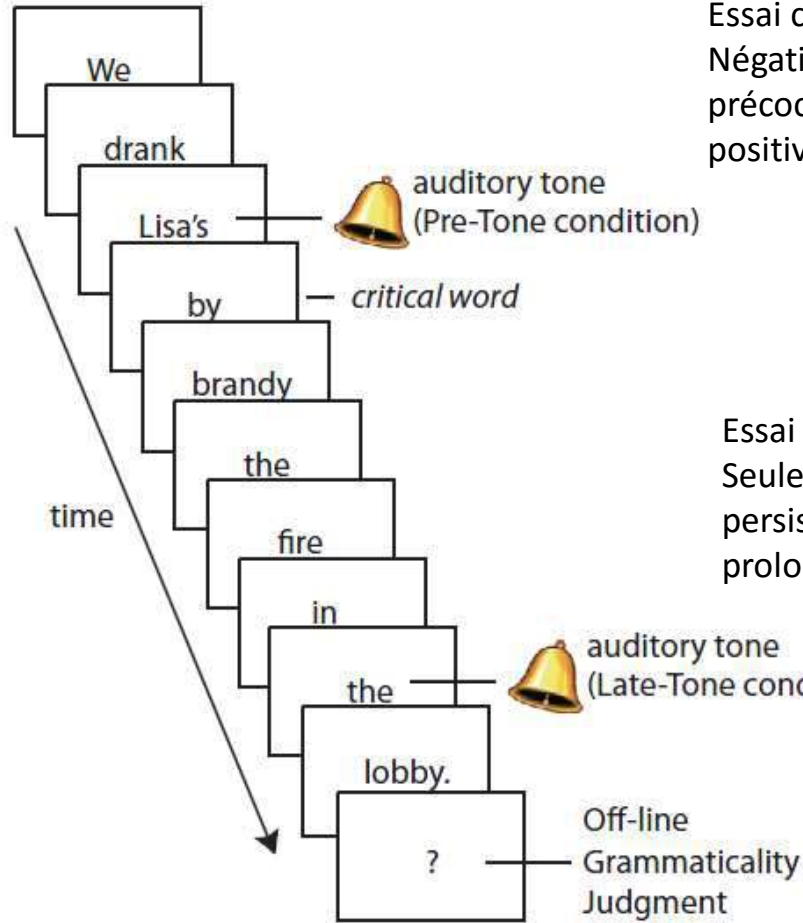
## Conclusion: les premières étapes de traitement syntaxique d'un mot peuvent toutes se dérouler non-consciemment



« ...Le boulanger va toucher le chèque du boucher... »

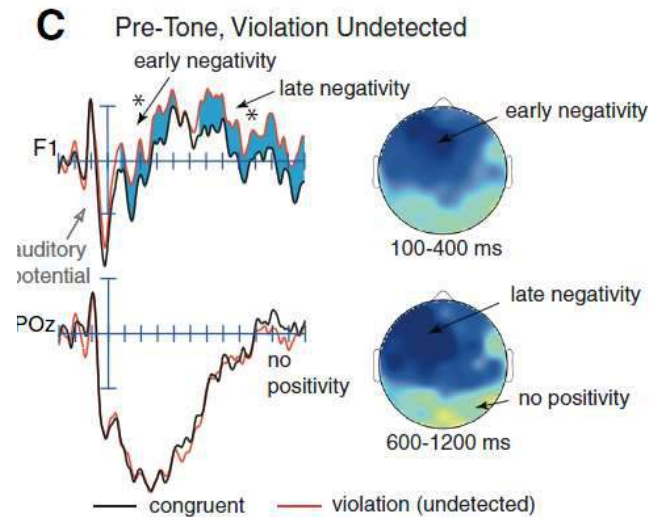
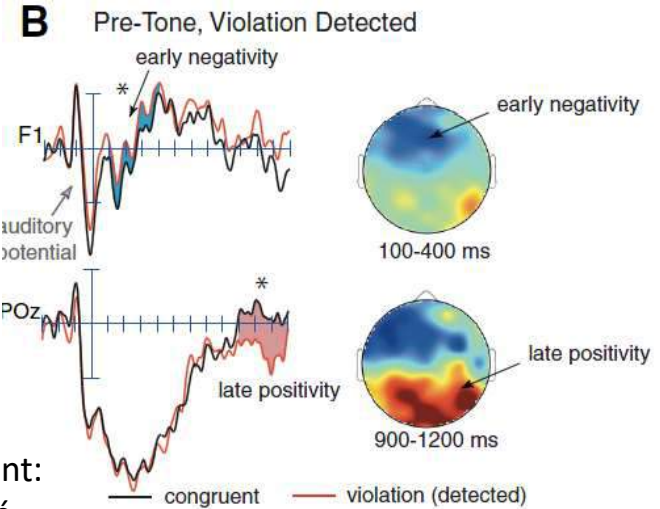
# Convergence avec une étude de la cécité par « clignement attentionnel »

Batterink et Neville, *J Neuroscience* 2013



Essai conscient:  
Négitivité  
précoce et  
positivité tardive

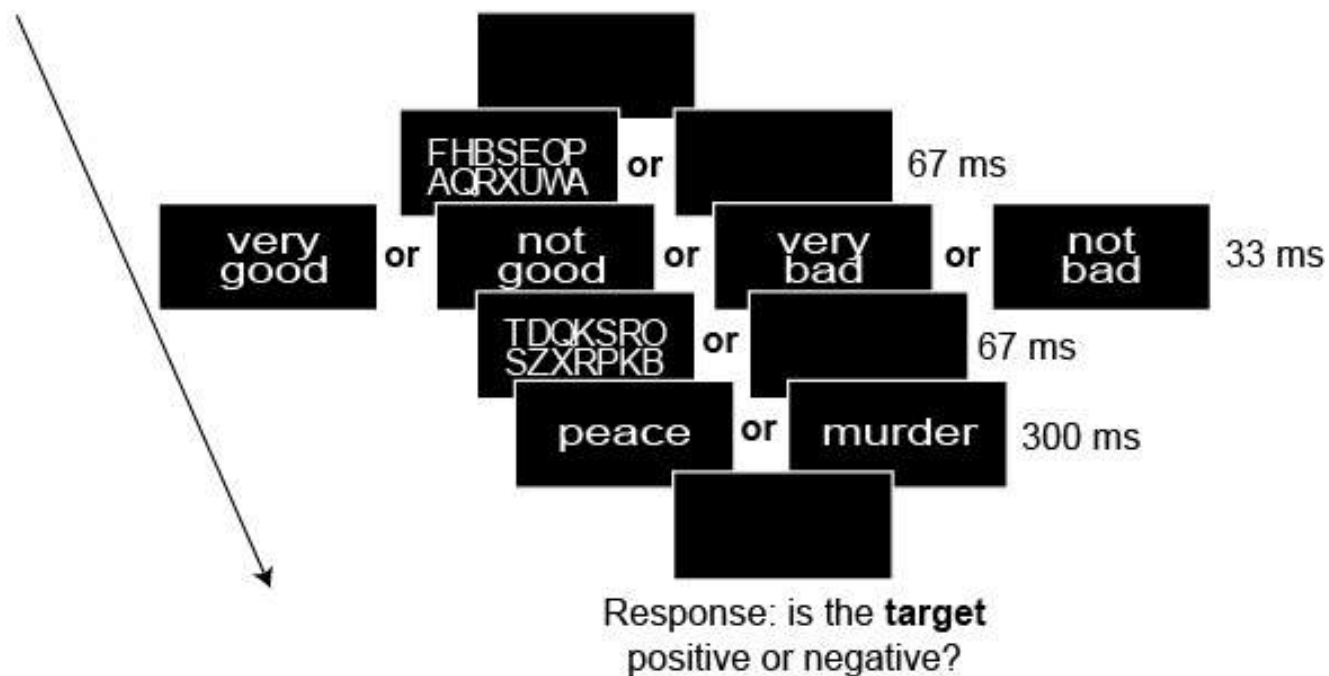
Essai non-conscient:  
Seule la négativité  
persiste et se  
prolonge.



# Le calcul non-conscient d'une combinaison sémantique de mots

Simon Van Gaal et al., *Proc Royal Society* 2014

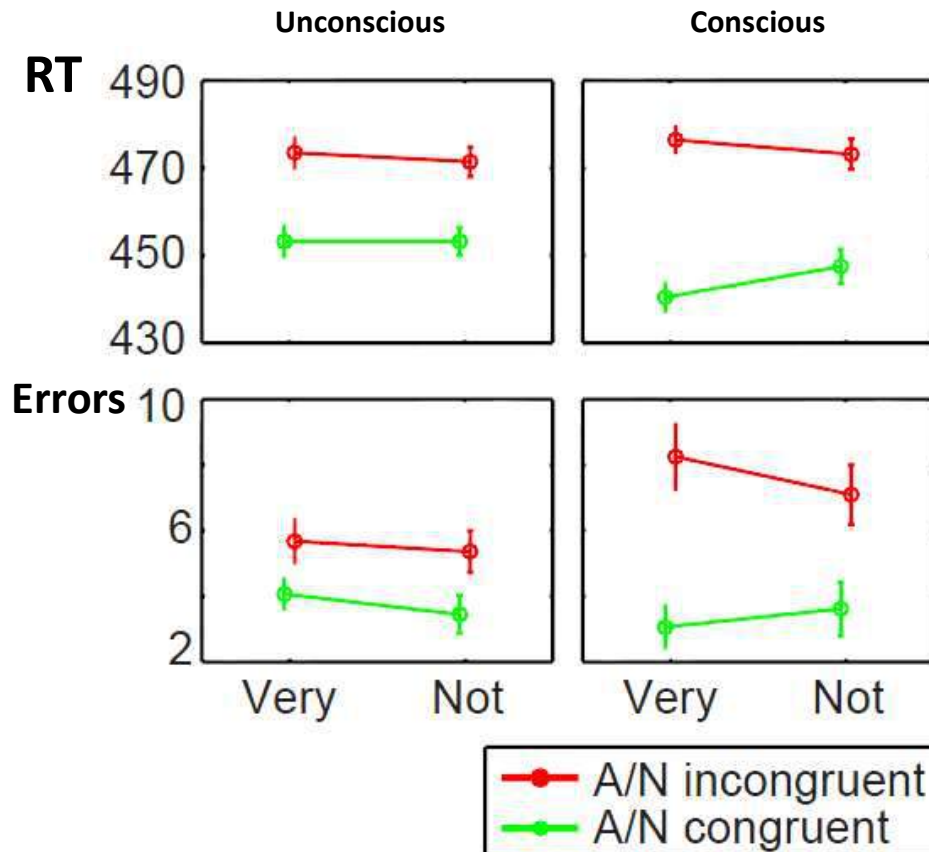
Dans un syntagme comme « très belle guerre » versus « pas belle guerre », le modificateur (très / pas) affecte radicalement le sens de l'adjectif, et donc sa congruence avec le mot qui suit.



Cet effet de modulation pourrait-il s'obtenir dans des conditions non-conscientes?

# Comportement: modulation non-consciente par l'adjectif, mais pas par le modificateur

Simon Van Gaal et al., *Proc Royal Society* 2014



## Essais conscients (démasqués):

Amorçage par l'adjectif

Effet principale de congruence:  $p < 0.001$

**Et modulation par le modificateur**

Interaction:  $p = 0.009$

## Essais non-conscients (masqués):

Amorçage par l'adjectif

Effet principale de congruence:  $p < 0.043$

**Mais aucune modulation par le modificateur**

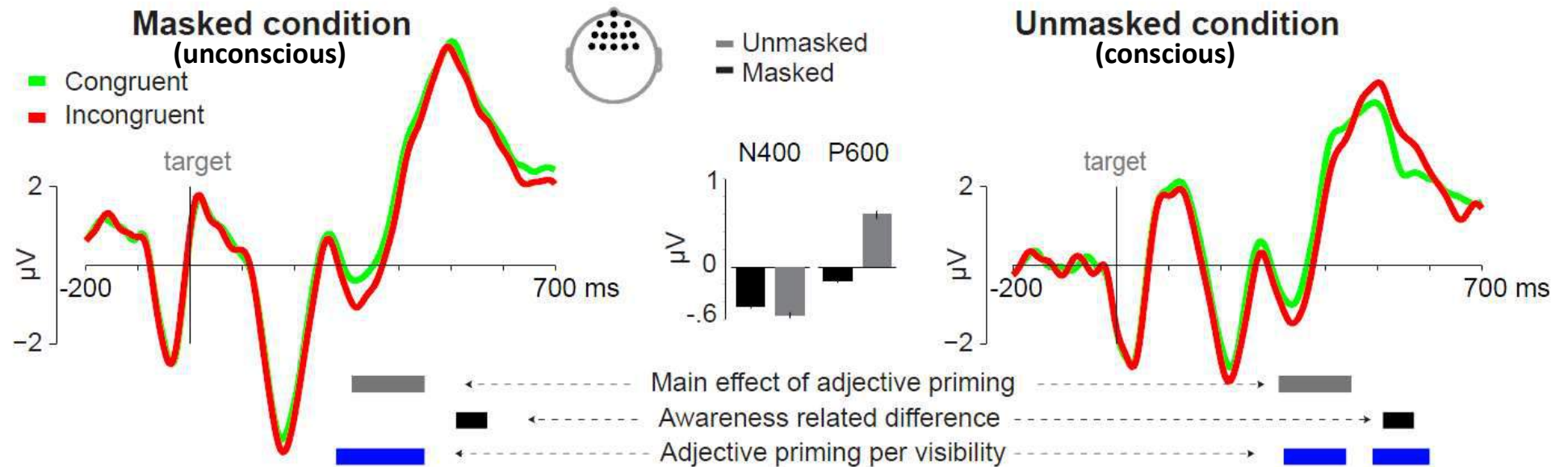
Interaction:  $p = 0.82$

→ Le comportement seul pourrait suggérer que le modificateur n'est pas lié non-consciemment à l'adjectif qui le suit.

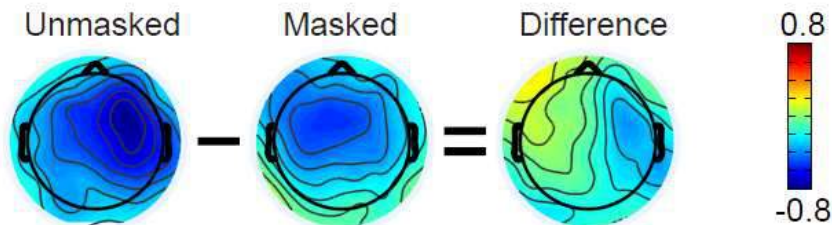
# Activité cérébrale: L'onde N400 est modulée par l'adjectif....

Simon Van Gaal et al., *Proc Royal Society* 2014

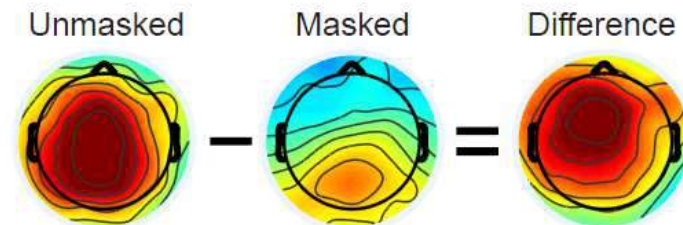
## A. Adjective priming effects



## B. N400 adjective priming



## P600 adjective priming

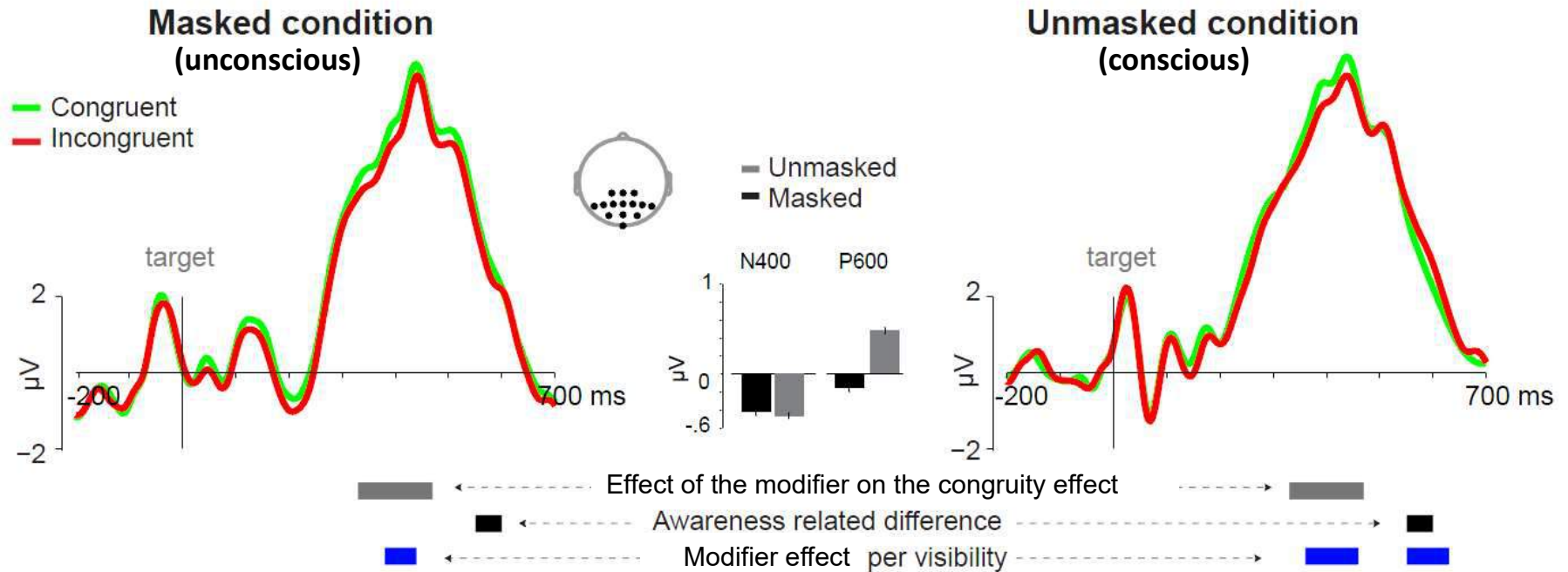




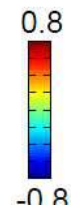
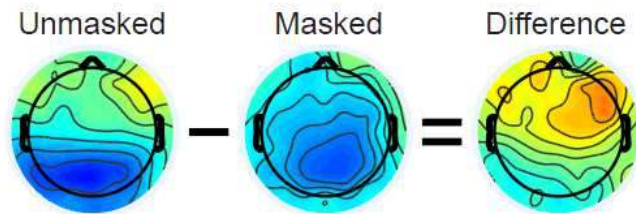
# Mais l'onde N400 est également modulée par le modificateur

Simon Van Gaal et al., *Proc Royal Society* 2014

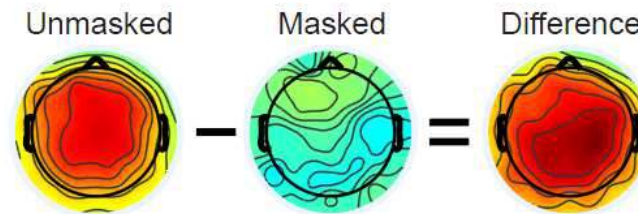
## A. Negation effects



## B. N400 negation effect



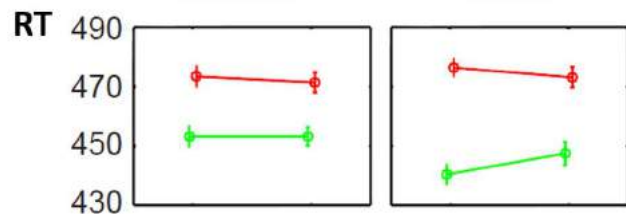
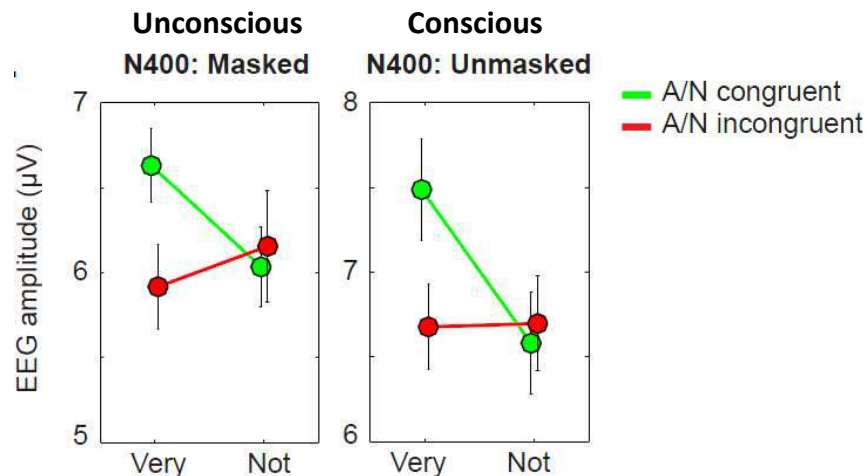
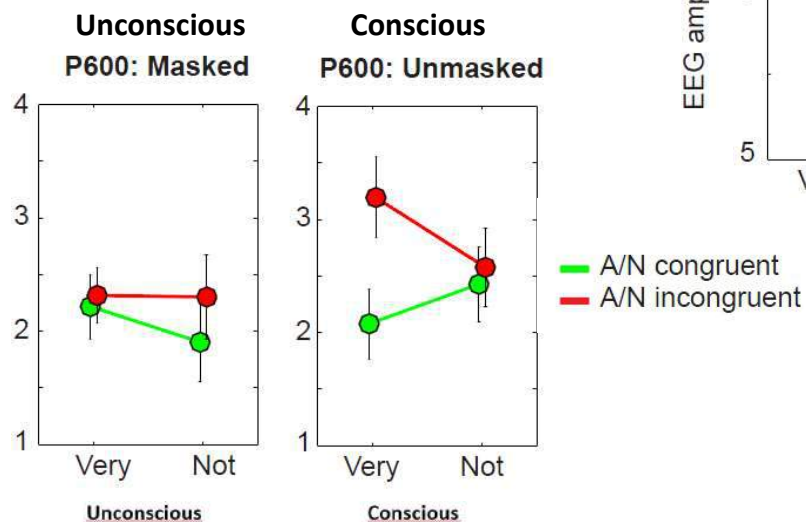
## P600 negation effect



# L'onde N400 intègre les informations de façon non-consciente, tandis que l'onde P600 indique un traitement conscient

Simon Van Gaal et al., *Proc Royal Society* 2014

La N400 n'est même pas *affectée* par le fait que les amorces soient conscientes ou non-conscientes.



Par contre, la modulation de la P600 n'est présente que lorsque les mots sont conscients.

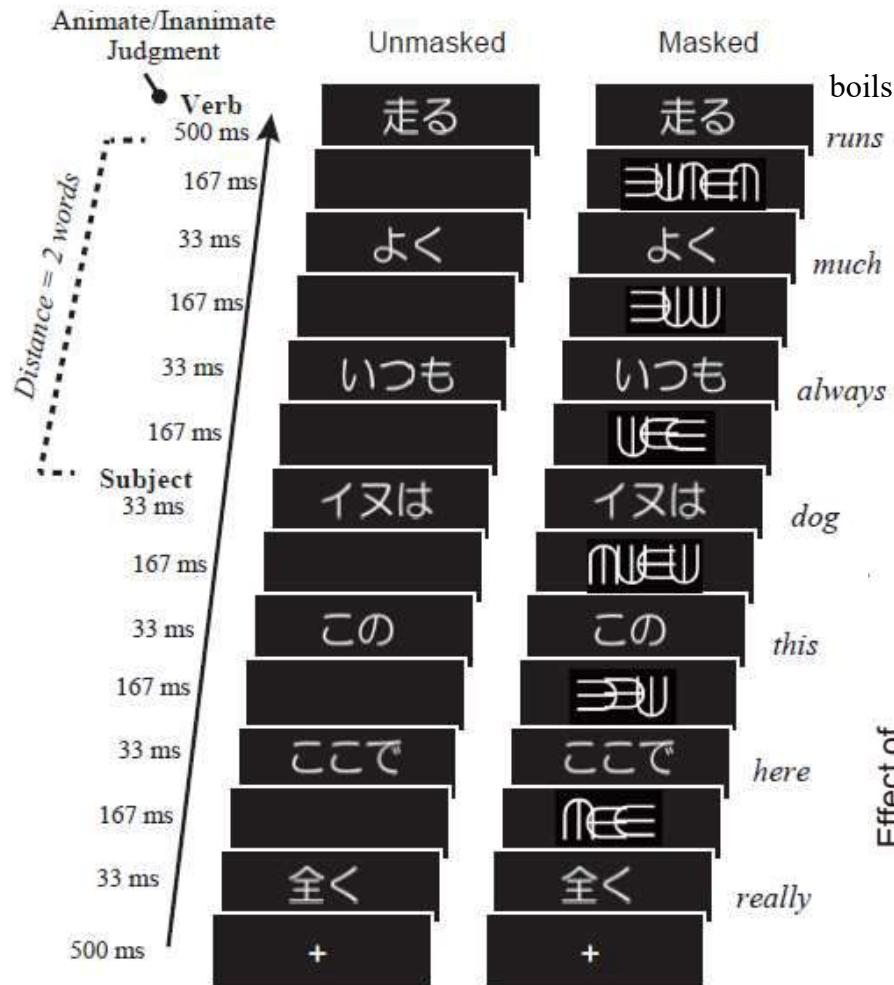
De façon surprenante, le comportement ne reflète qu'un effet partiel de l'adjectif.

→ Réponse initiée avant que l'intégration complète ait eu lieu?

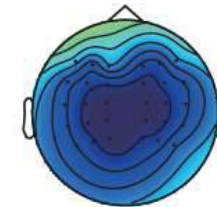
→ Intérêt des mesures de l'activité cérébrale pour évaluer en temps réel l'intégration des mots dans les phrases.

# Une limite à l'intégration non-consciente des mots dans les phrases?

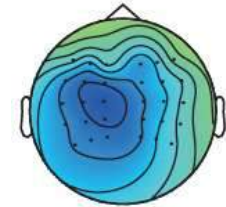
Kimihiro Nakamura a masqué une phrase entière! Ce qui permet de poser la question de la **distance d'intégration**.



Le dernier mot peut être congruent ou incongruent avec la phrase précédente, ce qui engendre une onde N400



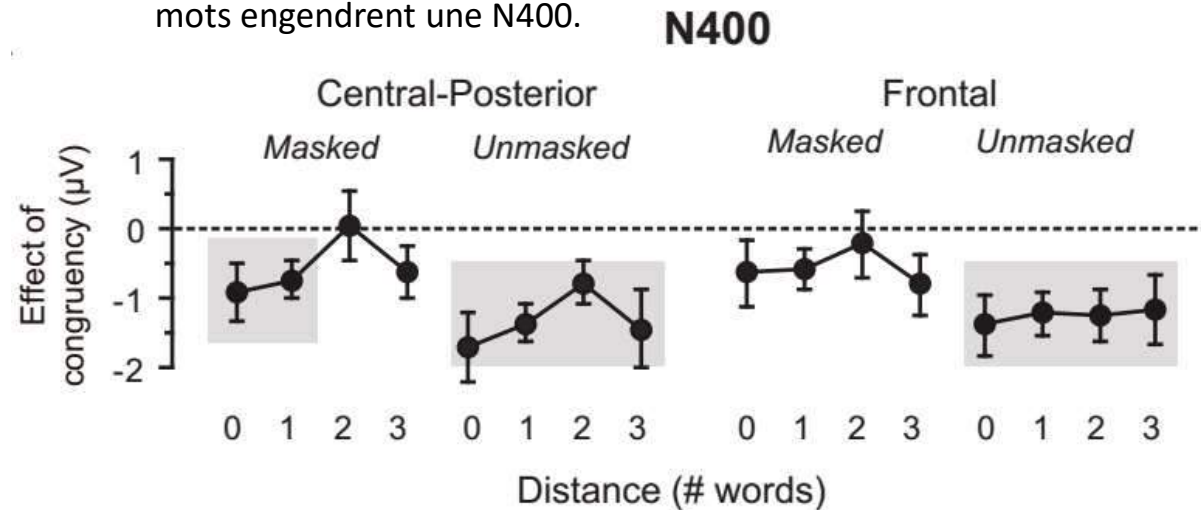
Démasqué (conscient)

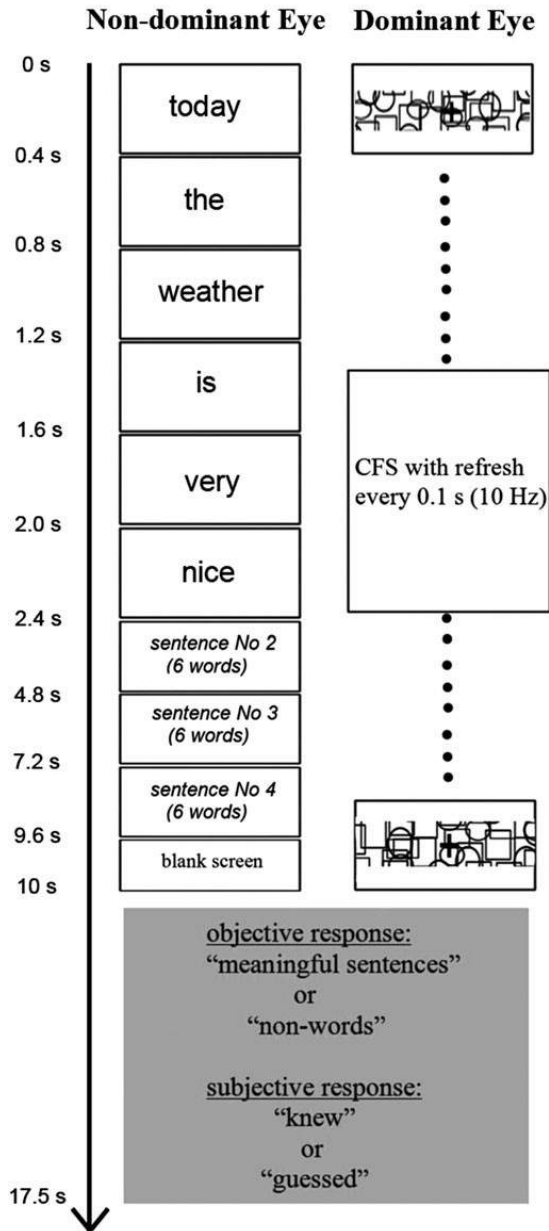


Masqué (non-conscient)

Pour les phrases conscientes, l'amorçage ne dépend pas de la distance temporelle.

Pour les phrases non-conscientes, seuls les deux derniers mots engendrent une N400.





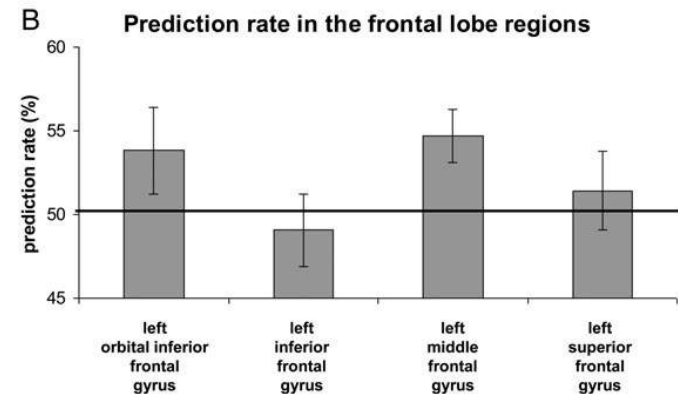
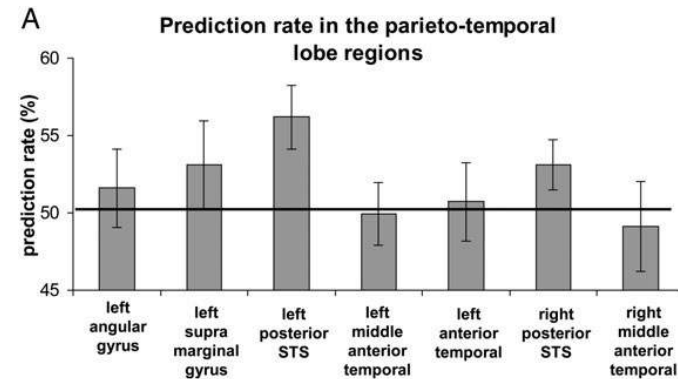
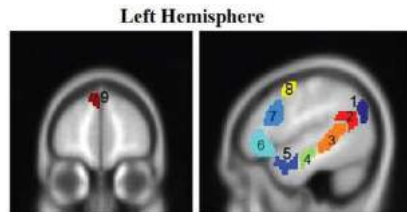
# Une activation non-consciente des aires du langage?

Axelrod, V., Bar, M., Rees, G., & Yovel, G. (2014). Neural Correlates of Subliminal Language Processing. *Cerebral Cortex*

Présentation de phrases ou de listes de mots, en compétition inter-oculaire avec une série de formes. Après chaque essai, le sujet doit dire s’il a vu quelque chose, et si c’était une phrase ou une liste de mots.

80% des essais sont subjectivement invisibles, et dans ces essais-là, le sujet répond au hasard.

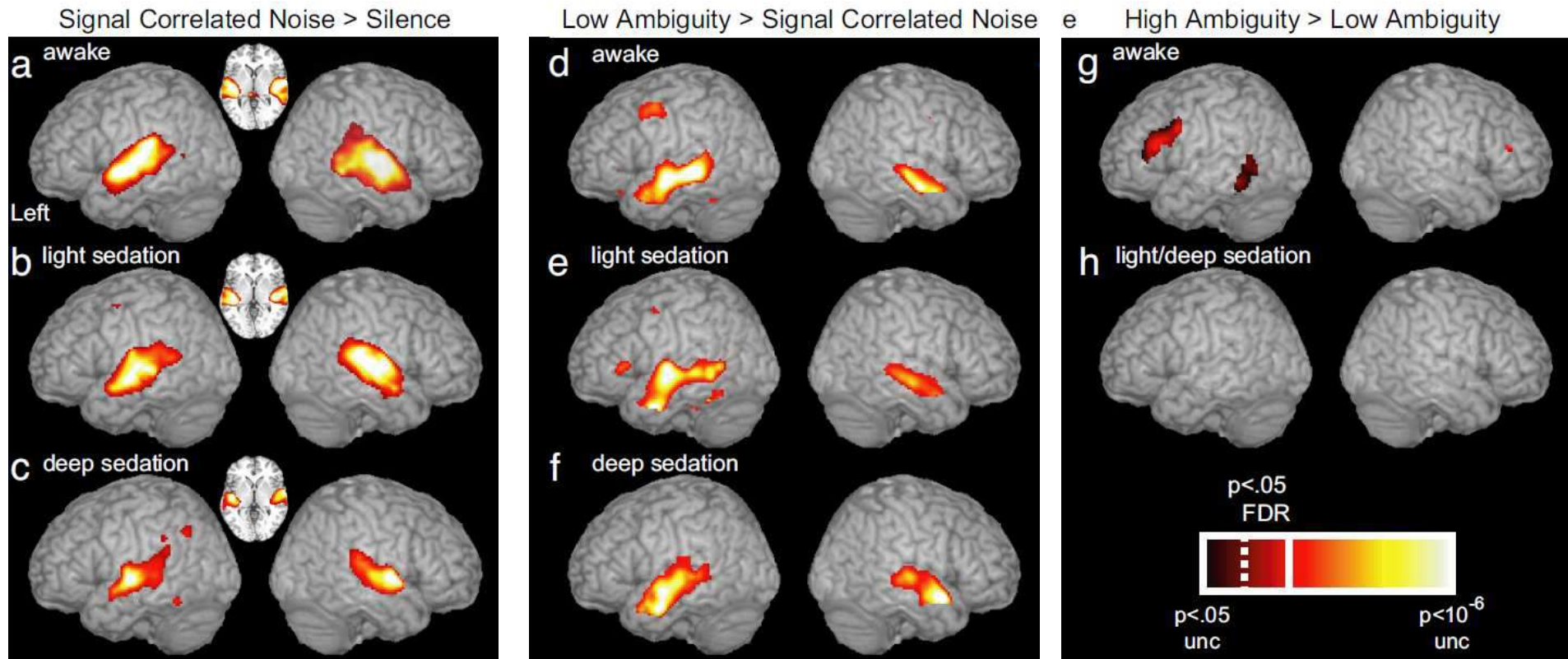
L’analyse multi-variée permet cependant de distinguer ces deux conditions (à un niveau très modeste!) dans la région temporale postérieure gauche et le gyrus frontal moyen (pas la région de Broca)



# Une partie seulement des aires du langage reste active durant l'anesthésie

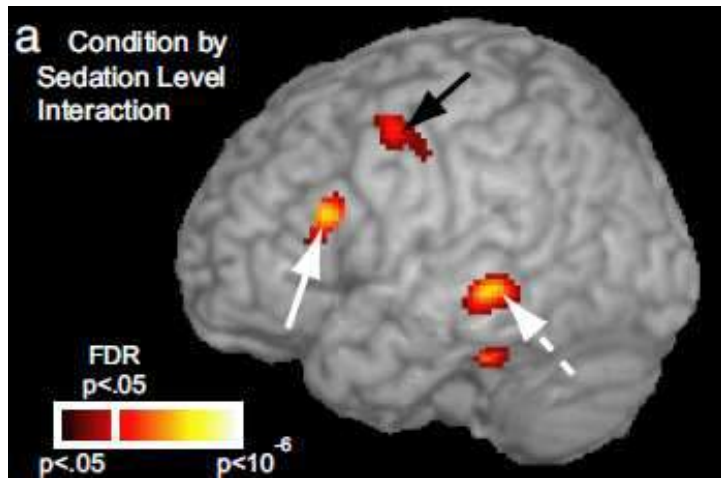
Davis, M. H., Coleman, M. R., Absalom, A. R., Rodd, J. M., Johnsrude, I. S., Matta, B. F., et al. (2007). Dissociating speech perception and comprehension at reduced levels of awareness. *PNAS*, 104(41), 16032-16037.

Présentation de phrases ou de bruit modulé, dans l'IRM fonctionnelle, alors que le sujet reçoit une sédation au propofol. Certaines phrases contiennent un grand nombre de mots ambigus ("there were dates and pears in the fruit bowl")

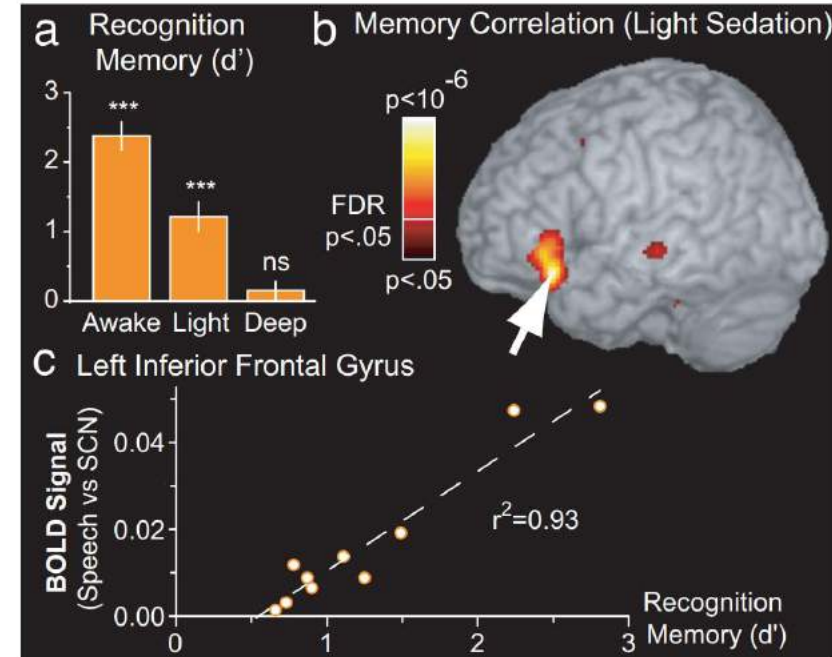
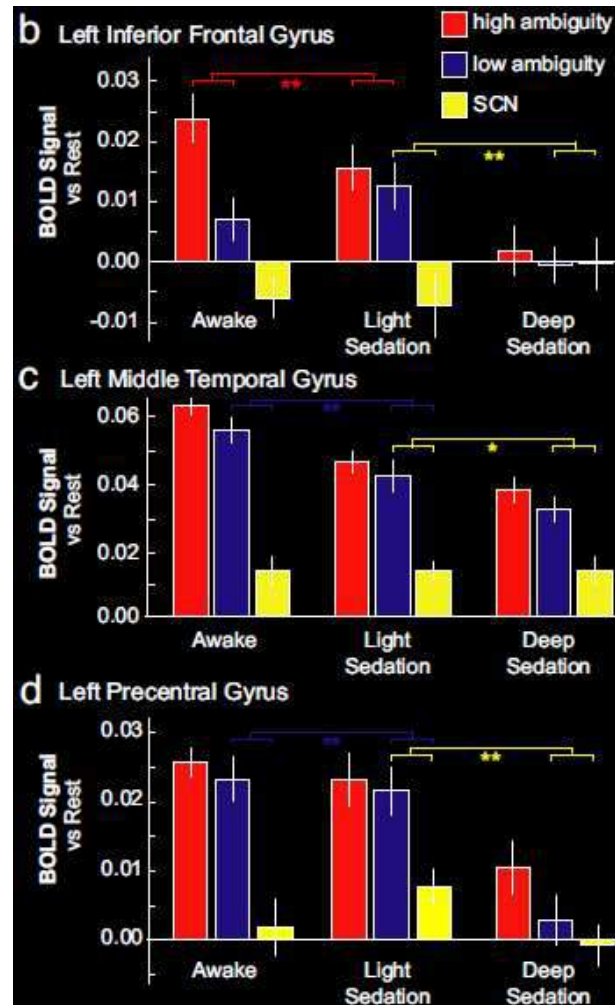


# La sédation affecte la compréhension et la mémoire des phrases

Davis, M. H., Coleman, M. R., Absalom, A. R., Rodd, J. M., Johnsrude, I. S., Matta, B. F., et al. (2007). Dissociating speech perception and comprehension at reduced levels of awareness. *PNAS*, 104(41), 16032-16037.



L'ambiguïté augmente l'activité d'un réseau temporo-frontal, mais cette différence n'existe que chez les sujets éveillés, elle disparaît pendant la sédation.



La mémoire des phrases disparaît progressivement pendant la sédation. Dans la condition de sédation légère, la capacité ultérieure de rappel est prédite par l'activation d'une région frontale inférieure.

## Conclusions sur le traitement non-conscient des syntagmes et des phrases

Les étapes les plus précoces et les plus simples du traitement syntaxiques sont exécutées non-consciemment

Catégorisation grammaticale : nom, verbe

Identification des traits syntaxiques: par exemple singulier ou pluriel (portés par la morphologie ou par le lexique)

Le cerveau répond de façon non-consciente à des violations

syntaxiques (ELAN)

sémantiques (N400)

mais peut-être seulement si les mots sont suffisamment proches (dépendance entre mémoire de travail et prise de conscience)

Le cortex temporal continue de répondre aux phrases inconscientes, y compris pendant la sédation, tandis que la région de Broca semble cesser de répondre.

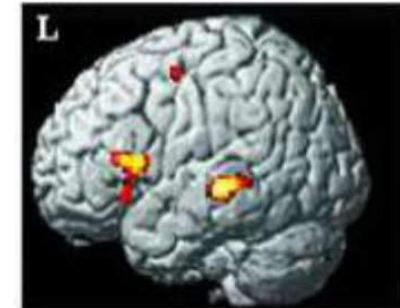
## Le réseau du langage est-il « encapsulé »?

Dans le cours de l'an passé, nous avons identifié un réseau restreint spécialisé dans la formation et la manipulation des arbres syntaxiques.

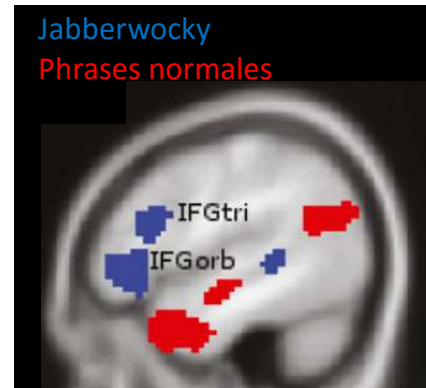
Ce réseau est-il

- Entièrement spécialisé pour la syntaxe (hypothèse de modularité)
- Ou bien, au contraire, entièrement partagé par différents domaines de la cognition qui, tous, font appel à des représentations récursives ou enchâssées? (hypothèse d'une ressource universelle, *Universal Generative Faculty* de Hauser et Watumull).

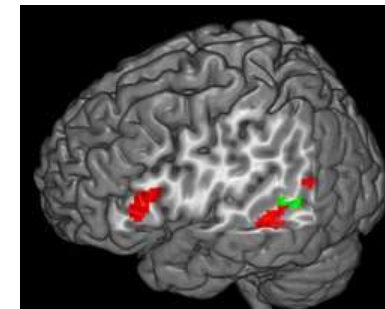
Mouvement syntaxique



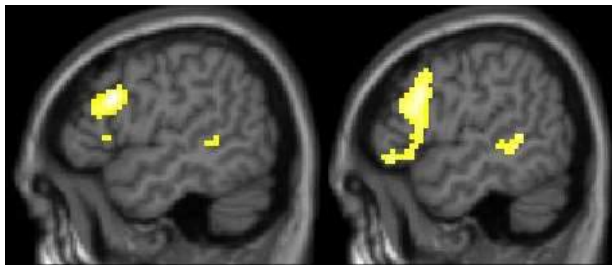
Jabberwocky  
Phrases normales



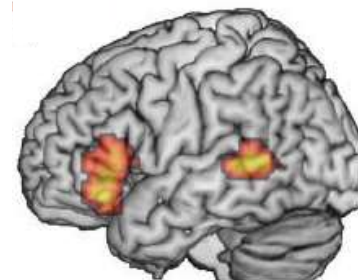
Langue des signes



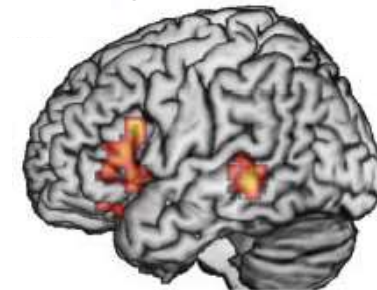
Exploration d'un arbre syntaxique



Révision d'une structure  
syntaxique ambiguë



Lésions conduisant à  
l'agrammatisme

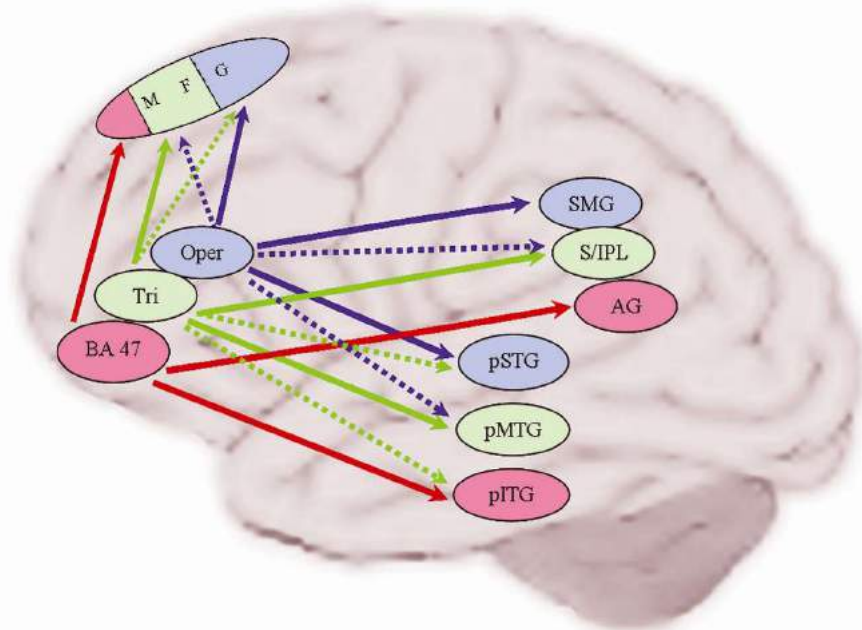




# Selon Peter Hagoort, les différentes structures du langage recrutent des réseaux parallèles

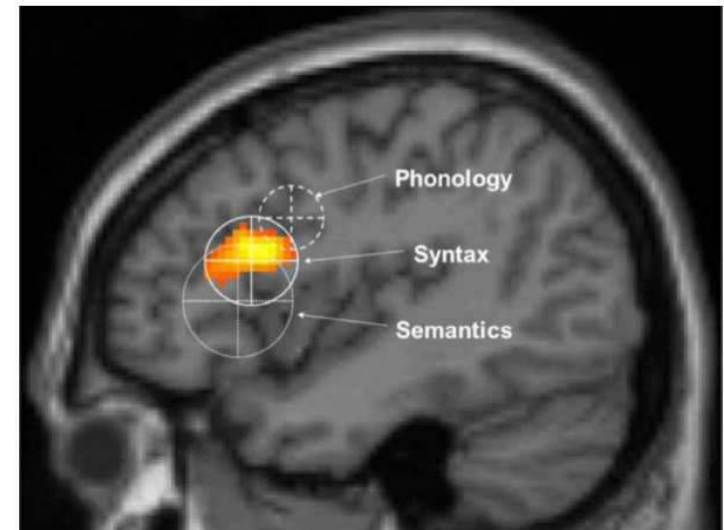
Hagoort, P. (2013). MUC (Memory, Unification, Control) and beyond. *Frontiers in Psychology*, 4

Les aires du langage contiennent des circuits parallèles pour trois niveaux de représentation combinatoire du langage: phonologie, syntaxe et sémantique.



Dans les trois cas, les aires temporales contiendraient des répertoires d'objets mémorisés.

Différentes régions du cortex frontal inférieur contribueraient à l'**unification** (*merge?*) de ces objets en arbres cohérents.



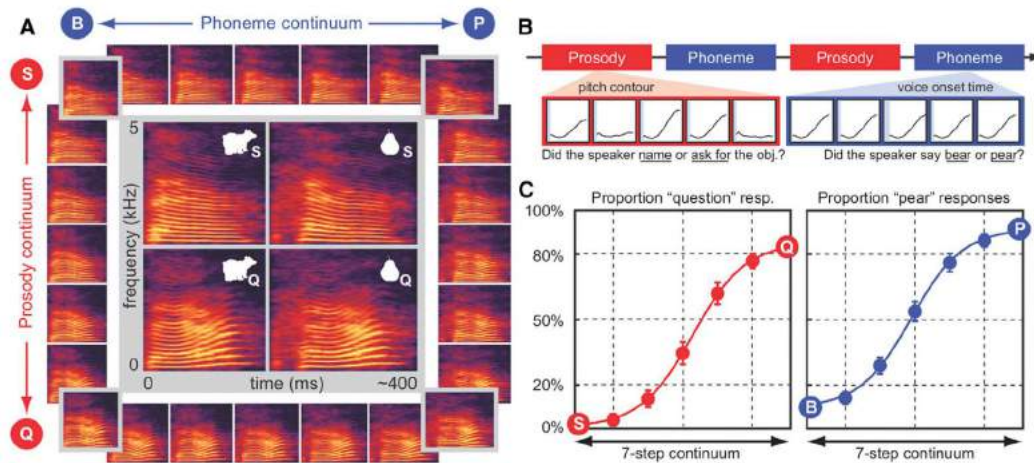
**FIGURE 3 | The unification gradient in left inferior frontal cortex.** Activations and their distribution are shown, related to semantic, syntactic and phonological processing. Regions are based on the meta-analysis in Bookheimer. The centers represent the mean coordinates of the local maxima, the radii represent the standard deviations of the distance between the local maxima and their means. The activation shown is from artificial grammar violations in Petersson et al. (2004) (courtesy of Karl Magnus Petersson).

# Un réseau équivalent pour la prosodie dans l'hémisphère droit

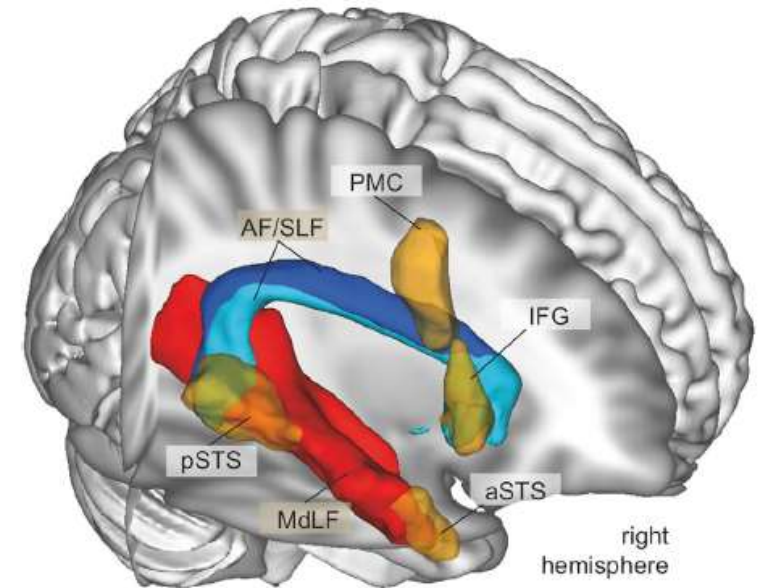
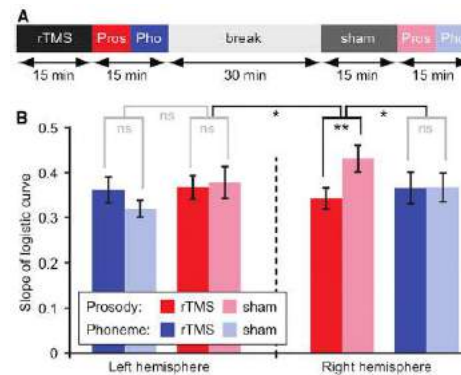
Sammler, D., Grosbras, M.-H., Anwander, A., Bestelmeyer, P. E. G., & Belin, P. (2015). Dorsal and Ventral Pathways for Prosody. *Current Biology: CB*, 25(23), 3079–3085.

Attention portée à la prosodie : tâche de jugement « affirmation ou question? »  
 ou au contenu phonétique : tâche = catégorisation de phonèmes b/p, distingués  
 par le délai d'établissement du voisement (*voice onset time*).

L'attention à la prosodie entraîne des activations plus intenses d'un réseau uniquement latéralisé à droite: pSTS et aSTS, IFG et prémoteur:



La stimulation magnétique transcrânienne du cortex prémoteur *droit* (mais pas gauche) affecte la perception de la prosodie (mais pas de la phonologie).



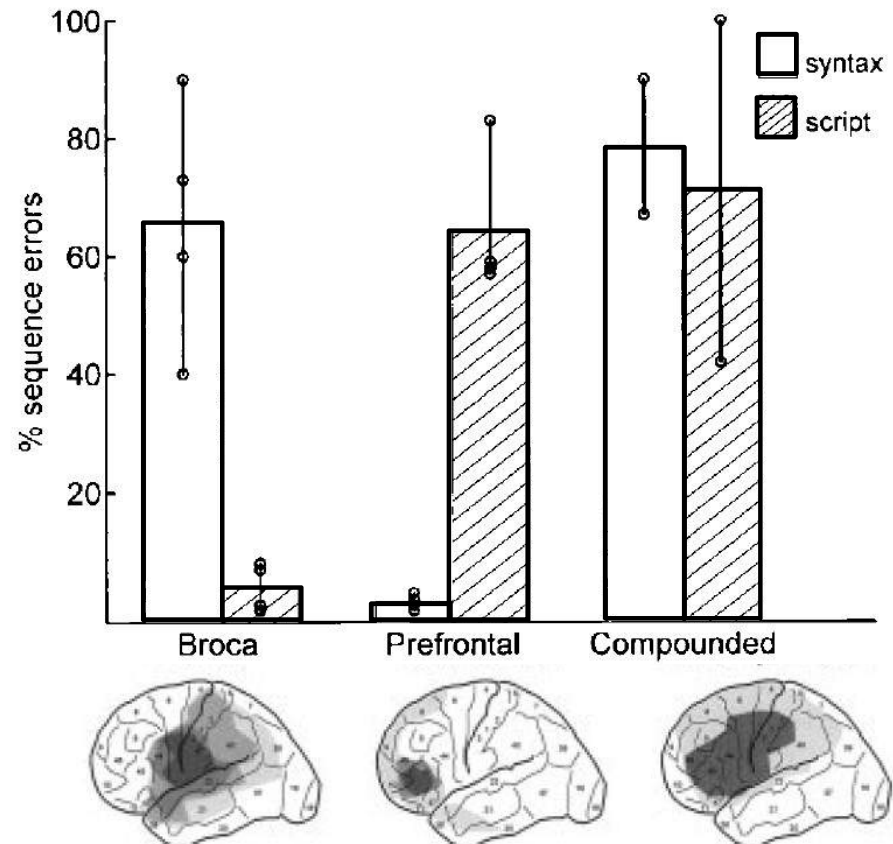
# Dissociation neuropsychologique entre le traitement des phrases et des scripts

Sirigu, A., Cohen, L., Zalla, T., Pradat-Diehl, P., van Eeckhout, P., Grafman, J., & Agid, Y. (1998).  
Distinct frontal regions for processing sentence syntax and story grammar. *Cortex*, 34, 771–778.

Deux tâches

- Remettre en ordre 5 cartes portant les mots d'une phrase :  
"traversait la rue" / "poussée par" / "alors qu'elle" / "une femme a été" / "un homme"
- Remettre en ordre 5 cartes correspondant à un « script » familier :  
"partir" / "arriver au kiosque" / "le prendre" / "payer" / "demander le journal"

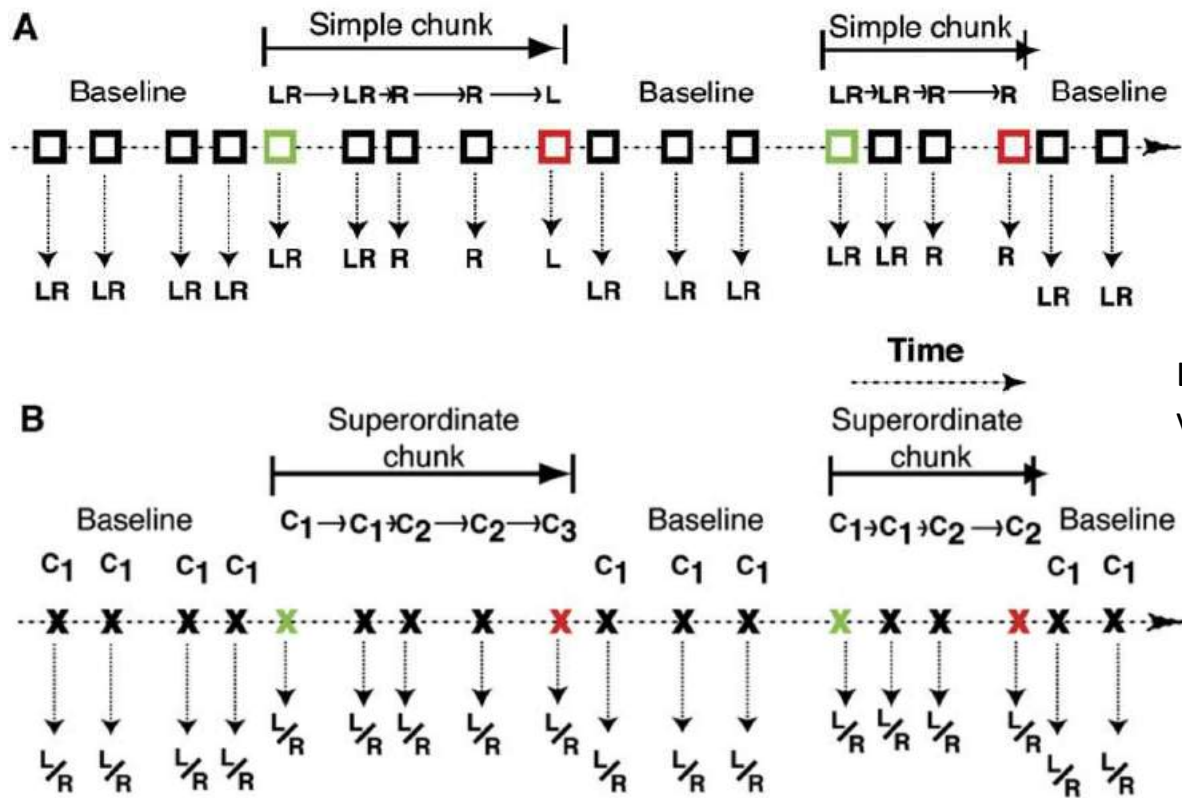
Conclusion: le traitement syntaxique est dissociable du traitement de la séquence des événements sémantiques.



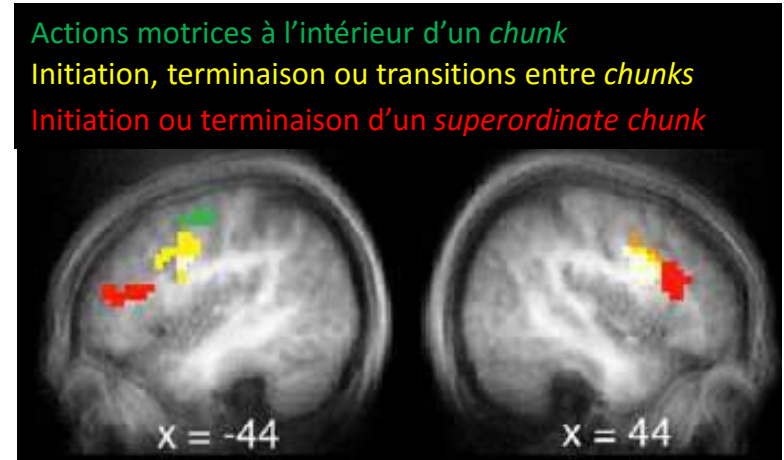
# La syntaxe de l'action: Représentation hiérarchique des séquences d'actions dans le cortex préfrontal

Koechlin, E., & Jubault, T. (2006). Broca's area and the hierarchical organization of human behavior. *Neuron*, 50(6), 963–74.

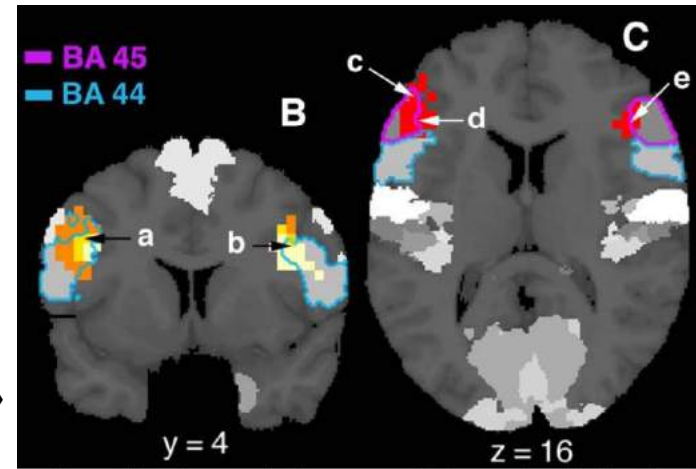
Les sujets doivent exécuter, soit des séquences d'actions motrices (« chunks »), soit des séquences de tâches cognitives (« superordinate chunks »).



Mais s'agit-il vraiment du même secteur de « l'aire de Broca » que celui impliqué dans le traitement du langage?



Les activations se déplacent vers l'avant, du cortex prémoteur vers l'aire 44 puis 45, à mesure que l'on monte dans la hiérarchie



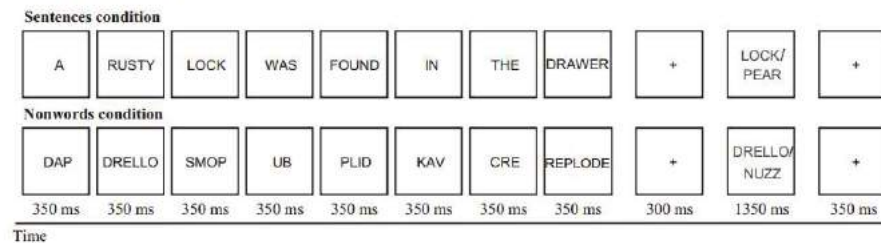
# Le langage fait appel à un réseau spécifique

Fedorenko, E., Behr, M. K., & Kanwisher, N. (2011). Functional specificity for high-level linguistic processing in the human brain. *PNAS*, 108(39), 16428–33.

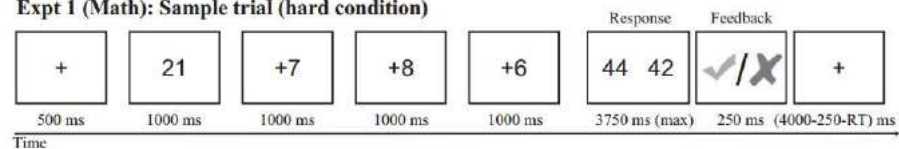
Lorsque la difficulté d'une tâche linguistique augmente, le cerveau recrute-t-il  
 - des aires spécifiques au langage?  
 - Ou bien des régions génériques, impliquées dans la résolution de n'importe quel problème cognitif?

Utilisation d'une batterie de tâches classiques, avec à chaque fois deux niveaux de difficulté.

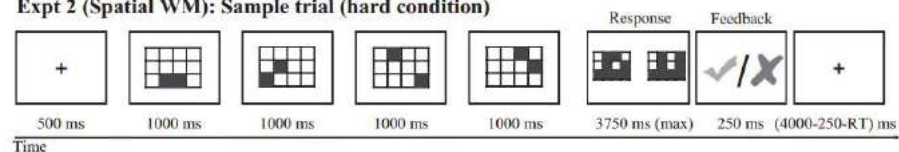
## Language localizer: Sample trials



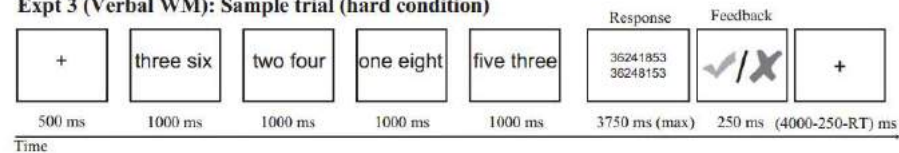
## Expt 1 (Math): Sample trial (hard condition)



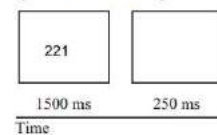
## Expt 2 (Spatial WM): Sample trial (hard condition)



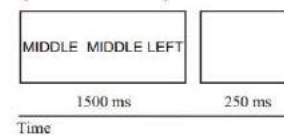
## Expt 3 (Verbal WM): Sample trial (hard condition)



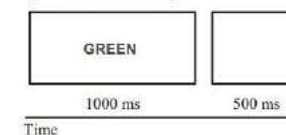
## Expt 4 (MSIT): Sample trial (hard condition)



## Expt 5 (vMSIT): Sample trial (hard condition)



## Expt 6 (Stroop): Sample trial (hard condition)



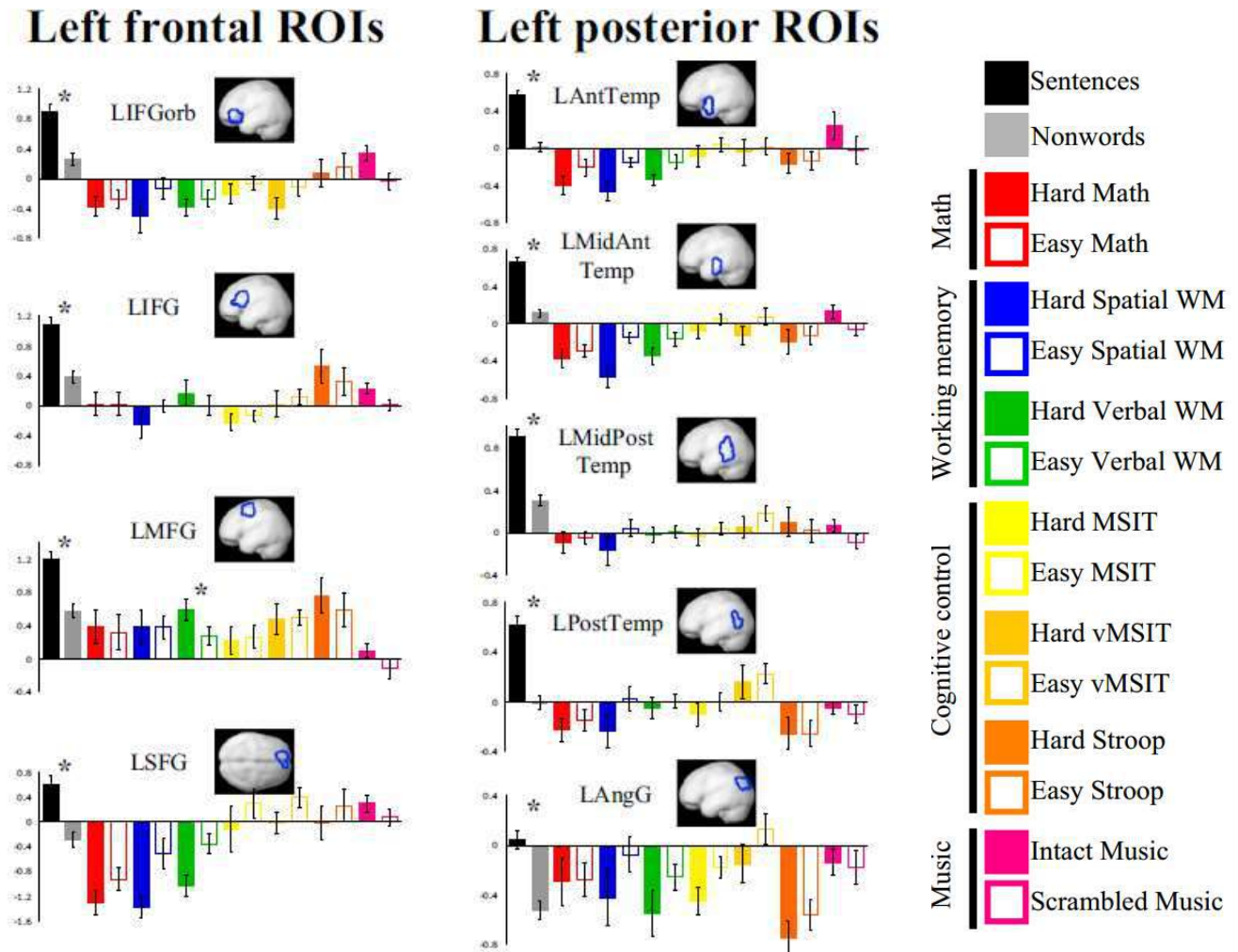
# Le langage fait appel à un réseau spécifique

Fedorenko, E., Behr, M. K., & Kanwisher, N. (2011). Functional specificity for high-level linguistic processing in the human brain. *PNAS*, 108(39), 16428–33.

- Etape 1:  
identification des aires « du langage » propres à chaque sujet, en contrastant les conditions « phrase » et « liste de mots ».

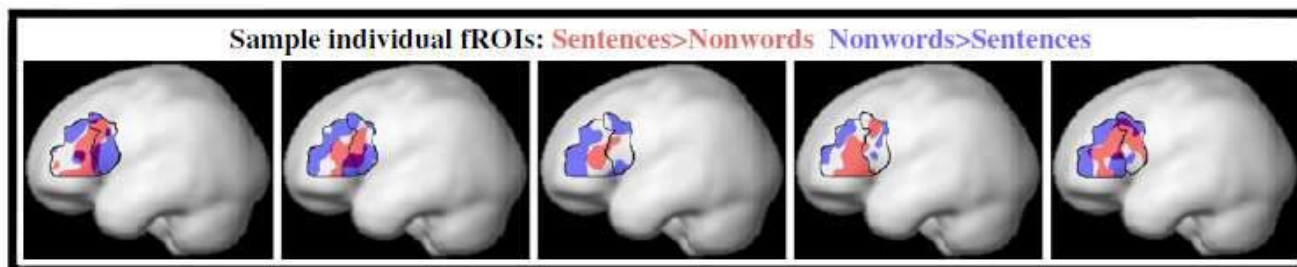
- Etape 2:  
Examen de la réponse de ces voxels aux autres conditions, dans des données strictement indépendantes.

- Résultats:  
recouvrement partiel, uniquement avec la tâche de mémoire verbale: tendances pour la musique, mais non-significatives après correction pour comparaisons multiples.



# Deux réseaux disjoints s'activent pour le langage et pour le contrôle cognitif (« multiple demand system »)

Fedorenko, E., Duncan, J., & Kanwisher, N. (2012). Language-Selective and Domain-General Regions Lie Side by Side within Broca's Area. *Curr Biol*, 22(21), 2059–62.



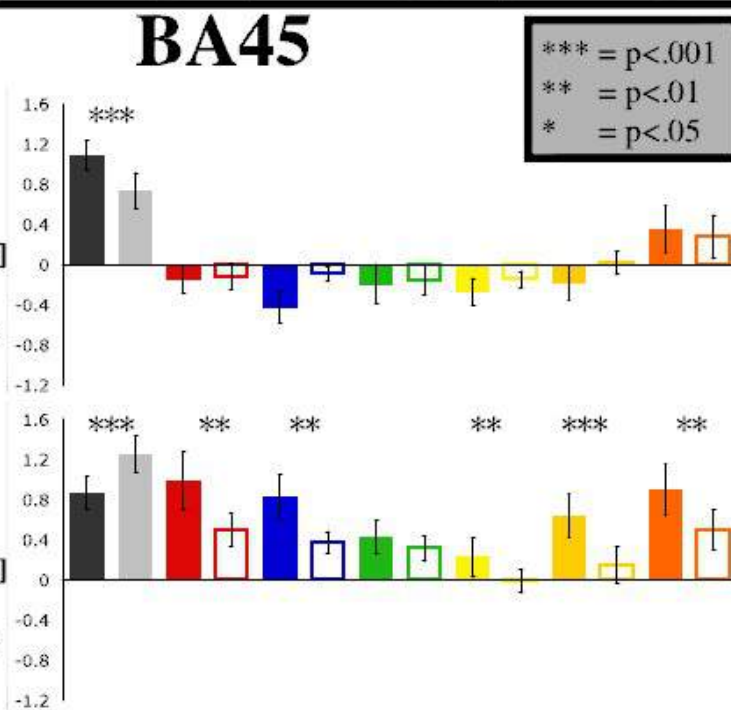
Dans un second article fondé sur les mêmes données, les auteurs montrent qu'il existe, chez chaque sujet, une double dissociation entre les aires du langage et celles impliquées dans les tâches cognitives qui demandent un effort et une flexibilité

## Language-selective

[masked with Sentences > Nonwords]  
(present in 98% of the subjects; average size: 339 voxels)

## Domain-general

[masked with Nonwords > Sentences]  
(present in 93% of the subjects; average size: 295 voxels)



Sentences  
Nonwords

Hard Math  
Easy Math

Hard Spat.WM  
Easy Spat.WM

Hard Verb.WM  
Easy Verb.WM

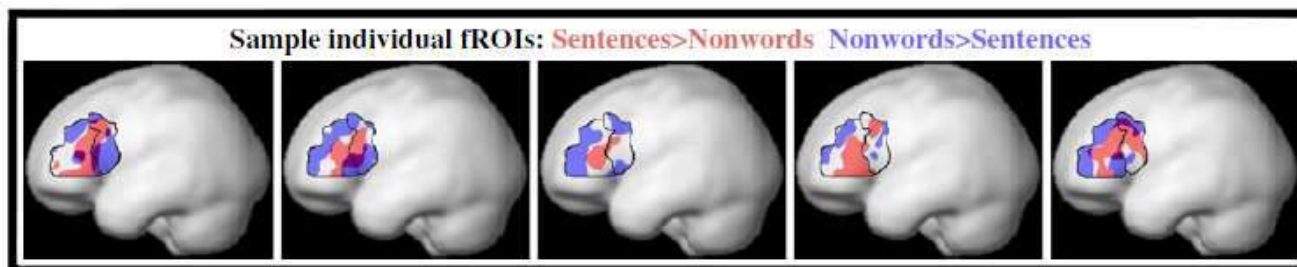
Hard MSIT  
Easy MSIT

Hard vMSIT  
Easy vMSIT

Hard Stroop  
Easy Stroop

# Deux réseaux disjoints s'activent pour le langage et pour le contrôle cognitif (« multiple demand system »)

Fedorenko, E., Duncan, J., & Kanwisher, N. (2012). Language-Selective and Domain-General Regions Lie Side by Side within Broca's Area. *Curr Biol*, 22(21), 2059–62.



## BA44

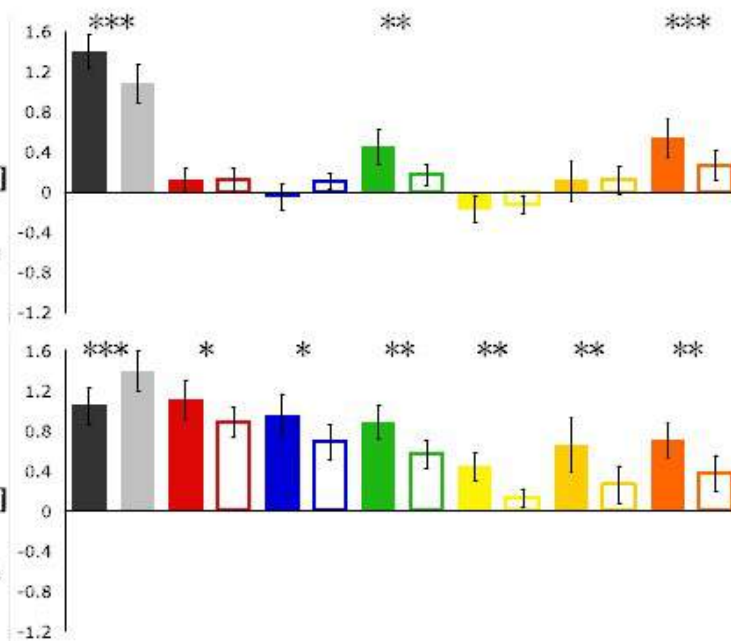
Dans un second article fondé sur les mêmes données, les auteurs montrent qu'il existe, chez chaque sujet, une double dissociation entre les aires du langage et celles impliquées dans les tâches cognitives qui demandent un effort et une flexibilité

### Language-selective

[masked with Sentences > Nonwords]  
(present in 93% of the subjects; average size: 152 voxels)

### Domain-general

[masked with Nonwords > Sentences]  
(present in 90% of the subjects; average size: 148 voxels)



Sentences  
Nonwords

Hard Math  
Easy Math

Hard Spat.WM  
Easy Spat.WM

Hard Verb.WM  
Easy Verb.WM

Hard MSIT  
Easy MSIT

Hard vMSIT  
Easy vMSIT

Hard Stroop  
Easy Stroop



## Conclusion: lorsque la méthodologie est suffisamment fine, on observe que les « aires du langage » peuvent être très spécifiques.

Fedorenko, E., & Thompson-Schill, S. L. (2014). Reworking the language network. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(3), 120–126. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.006>

La définition même des aires du langage dépend de la soustraction employée pour les isoler.

