

L'accès à la conscience

Stanislas Dehaene
Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

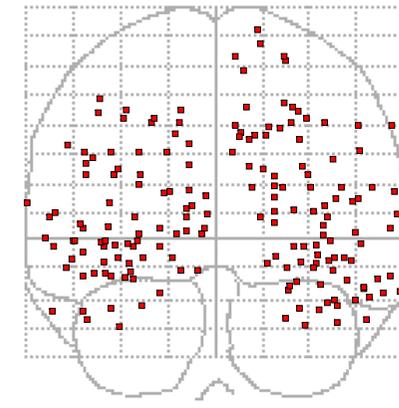
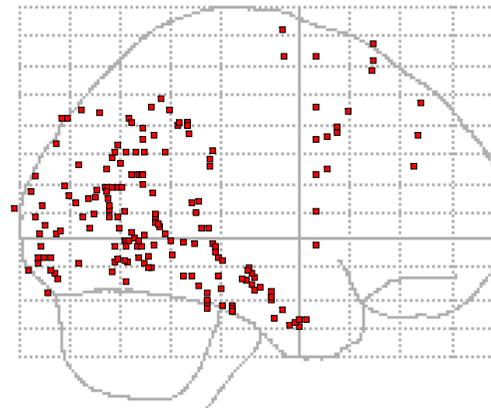
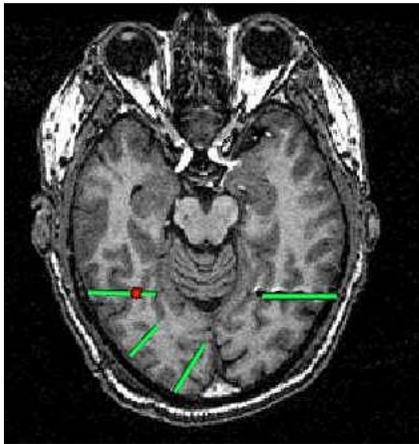
Cours

Signatures de l'accès à la conscience (2)

Les signatures électrophysiologiques de la conscience

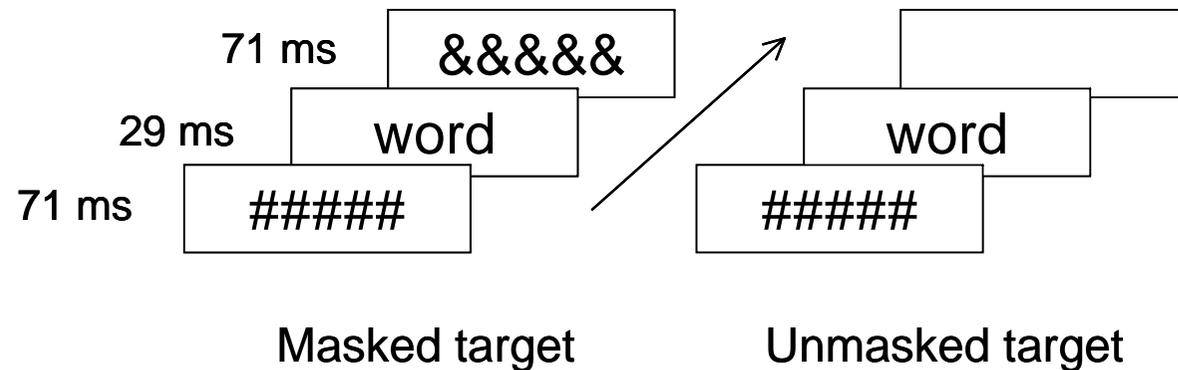
Gaillard et al., *Neuron* 2006; Gaillard, Dehaene, Naccache et al., *PLOS* 2009

Enregistrement intracrâniens chez 10 patients épileptiques, avec un total de 176 électrodes (montage bipolaire local), couvrant l'ensemble des 4 lobes du cortex



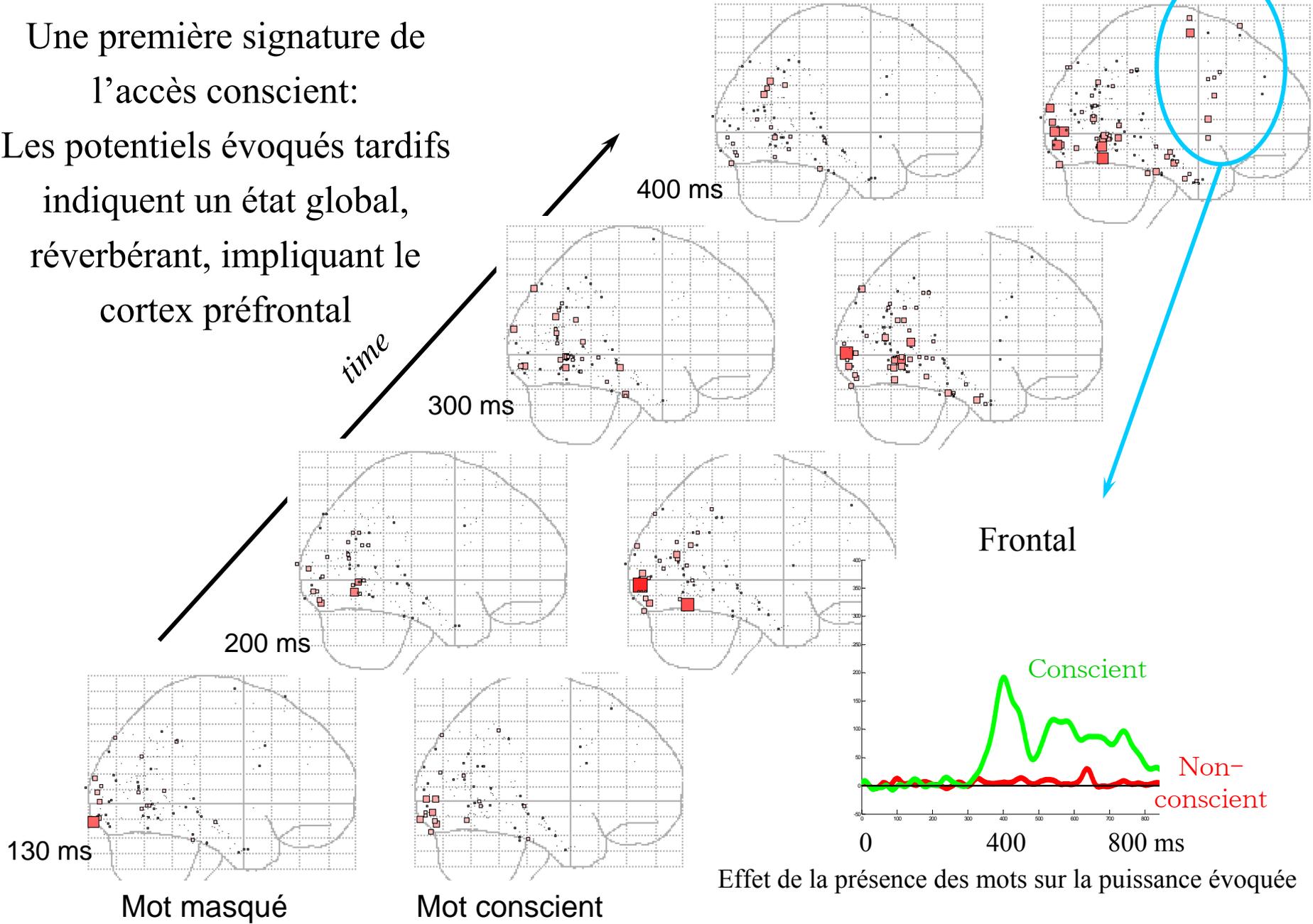
Paradigme:

- Mesure de l'activité évoquée par des mots masqués ou démasqués
- Soustraction de l'activité évoquée par les masques seuls (essais avec mots absents)



Une première signature de l'accès conscient:
Les potentiels évoqués tardifs indiquent un état global, réverbérant, impliquant le cortex préfrontal

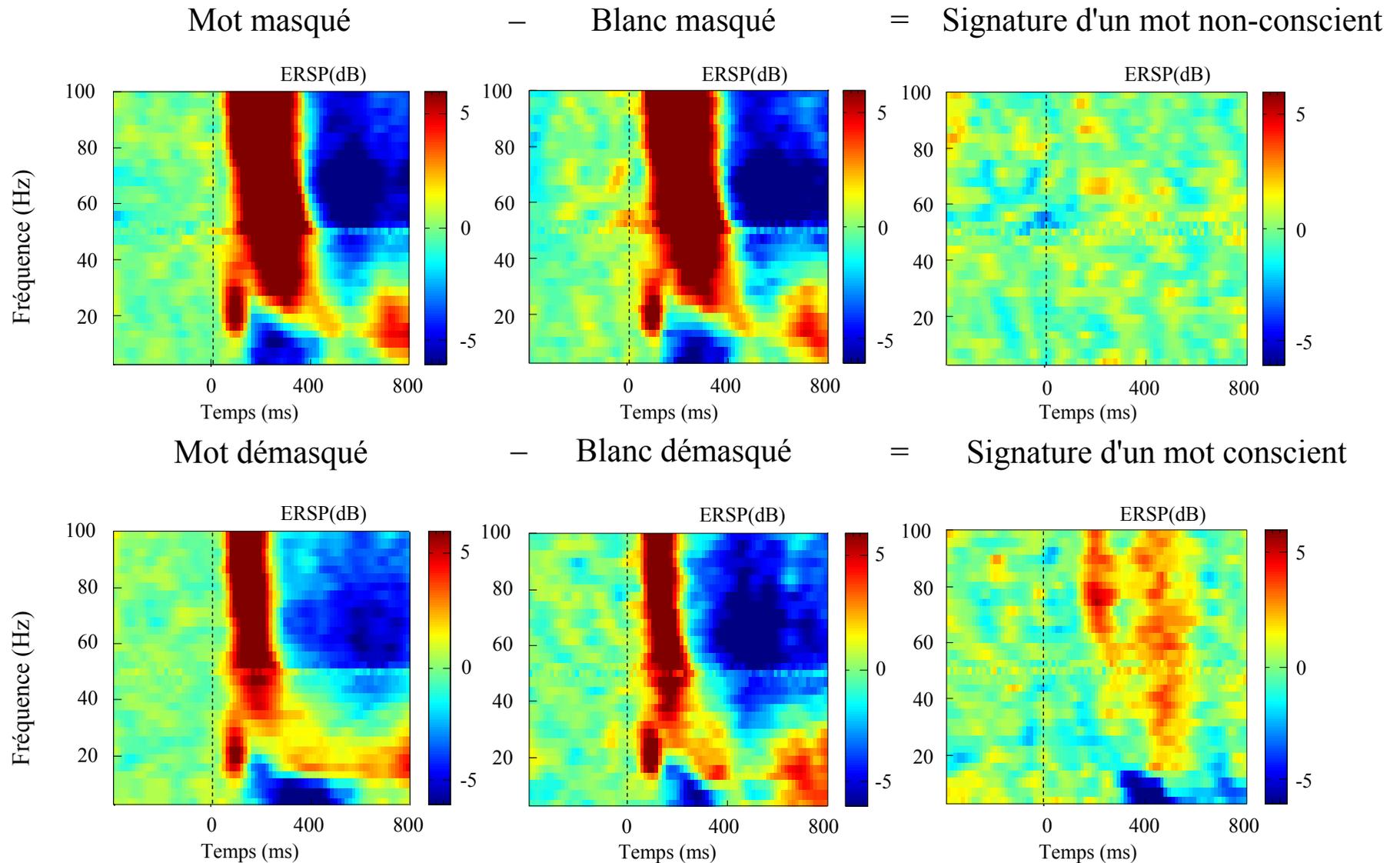
time



69% des électrodes montrent un effet conscient (broadcasting)

Deuxième signature de la conscience: l'accroissement tardif de la puissance dans la bande gamma

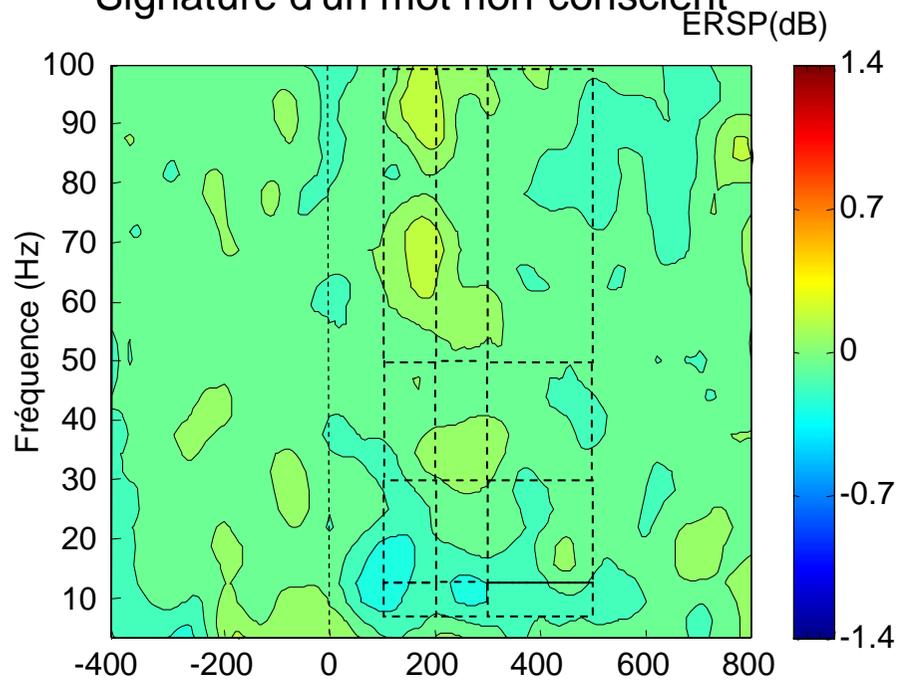
Exemple d'une électrode



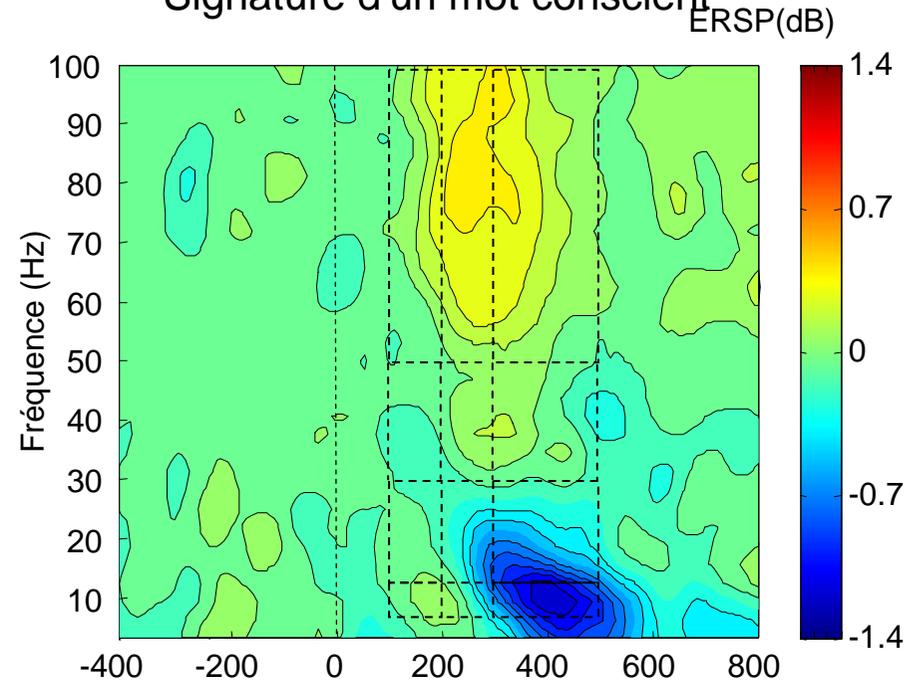
Deuxième signature de la conscience: l'accroissement tardif de la puissance dans la bande gamma

Moyenne de 147 électrodes

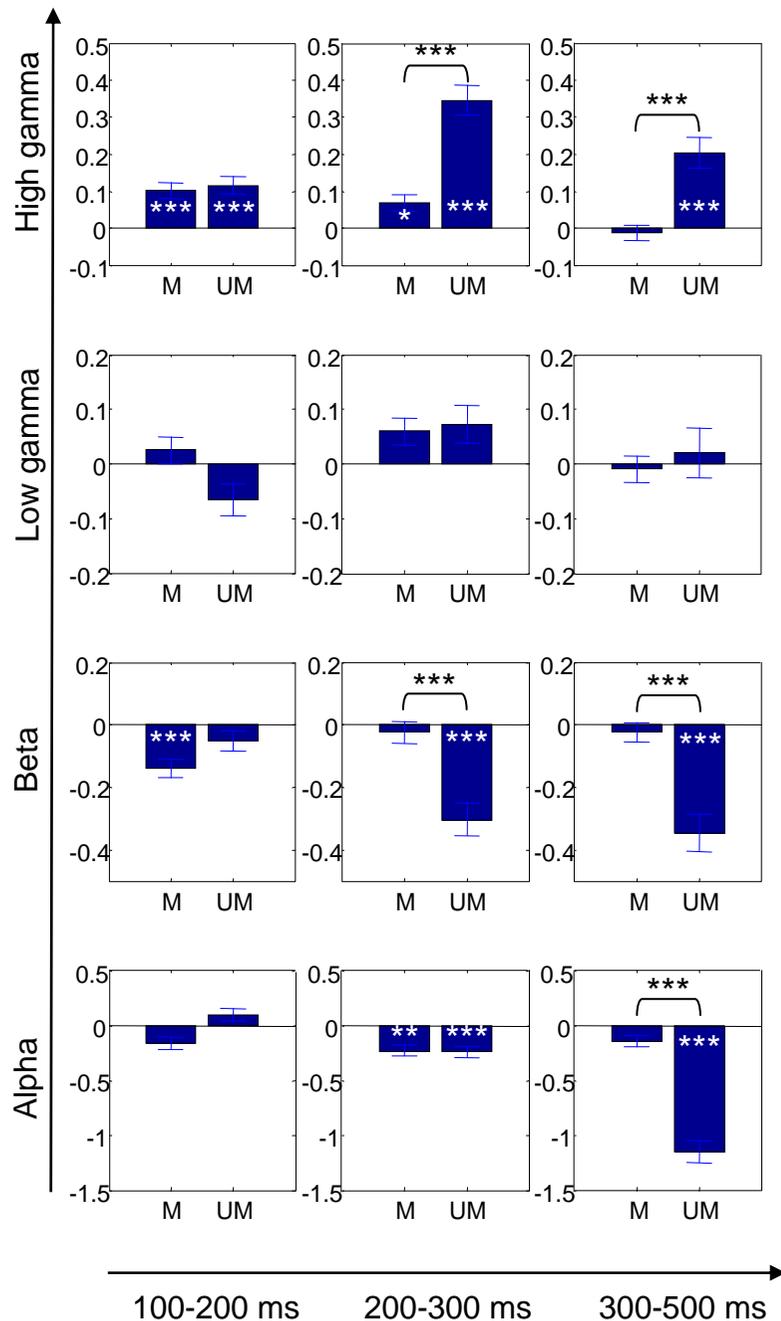
Signature d'un mot non-conscient



Signature d'un mot conscient



Event-related spectral perturbation

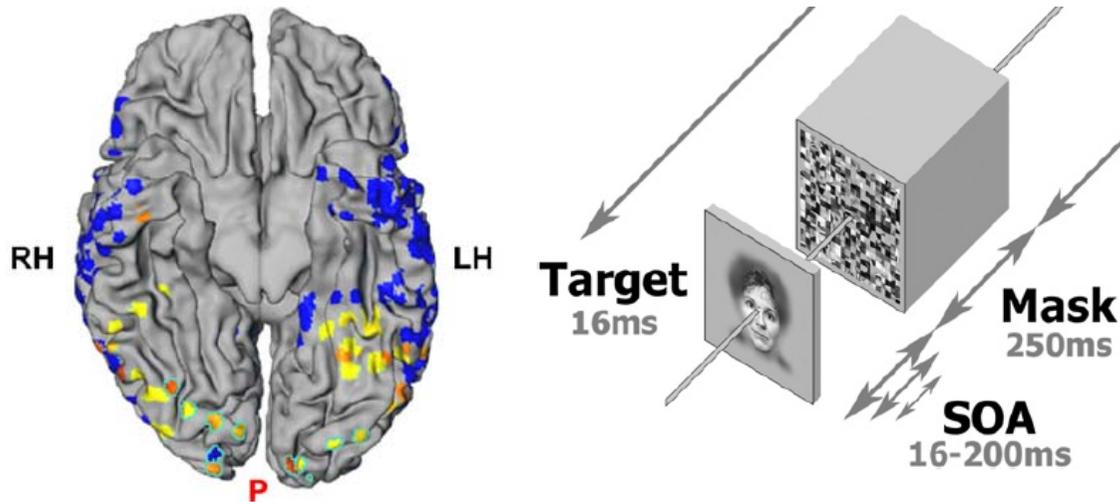


Conclusions:

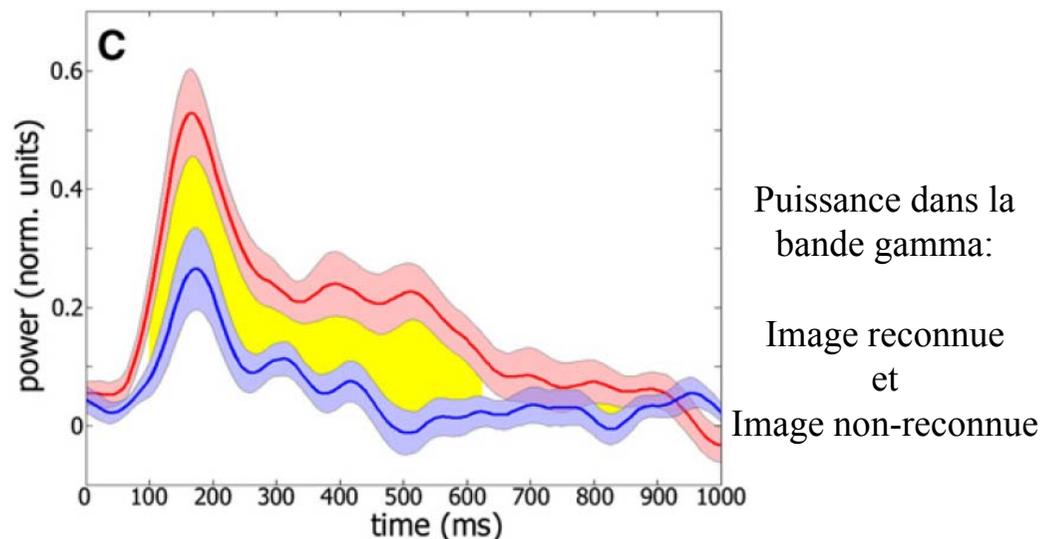
- A l'encontre de Crick et Koch (1990), l'activité dans la bande gamma (>30 Hz) n'a rien d'unique à la conscience (Gaillard et al., 2009; voir également Fisch et al., 2009; Melloni et al., 2007)
- Elle corrèle étroitement avec n'importe quel traitement local, conscient ou non-conscient, mesuré par les potentiels évoqués classique.
- Par contre, son amplification tardive (ignition) est une signature potentielle de la conscience
- de même que la diminution de la puissance dans la bande alpha (effet d'attention).

Corroboration par une étude intracrânienne récente

Fisch et al., *Neuron* 2009

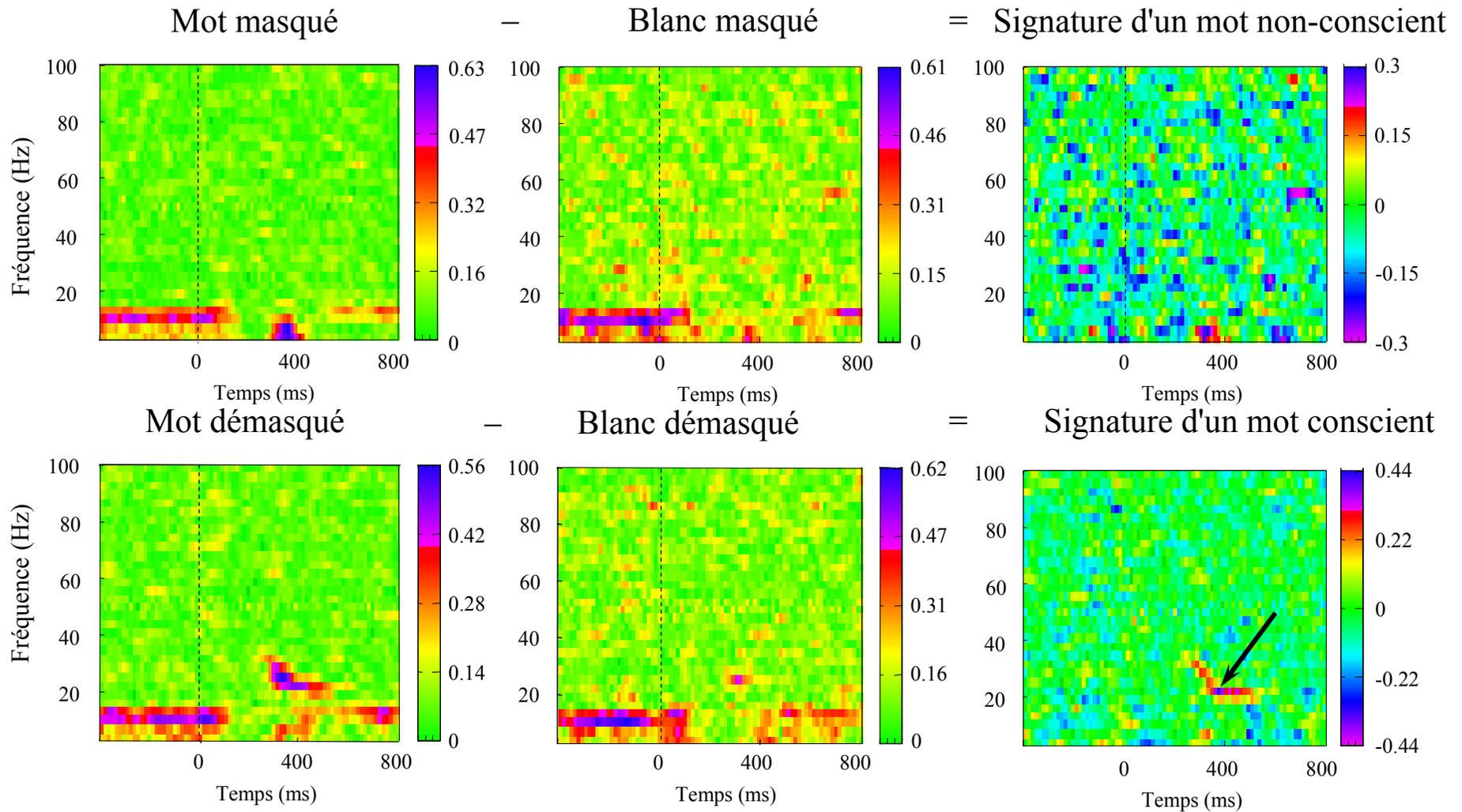


- Enregistrement de 445 électrodes chez 11 patients
- Analyses restreintes aux 20 électrodes qui montrent une sélectivité catégorielle à une catégorie de cibles (visages, maisons, objets) plus qu'aux masques
- Tant les potentiels évoqués que la puissance gamma montrent
 - Une activation précoce (100-300 ms)
 - Déjà amplifiée lorsque l'image est reconnaissable par rapport aux essais où elle n'est pas reconnue
 - Modulation qui se transforme, après ~300 ms, en une différence tout-ou-rien.



Troisième signature de la conscience: la synchronisation à longue distance, mesurée par la cohérence de phase dans la bande bêta

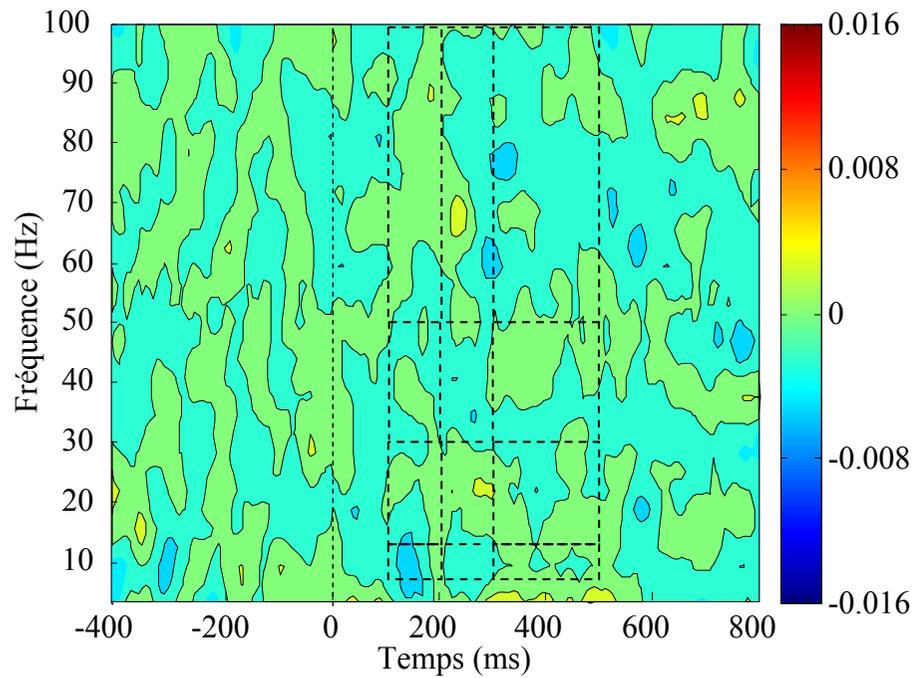
Exemple de paire d'électrodes



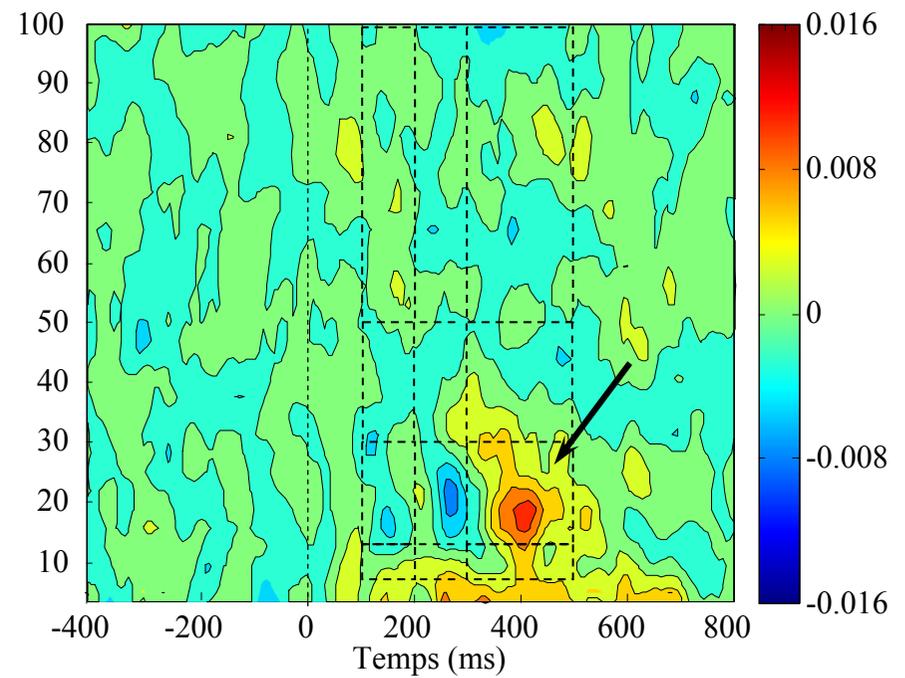
Troisième signature de la conscience: la synchronisation à longue distance, mesurée par la cohérence de phase dans la bande bêta

Moyenne sur 1283 paires d'électrodes

Signature d'un mot non-conscient

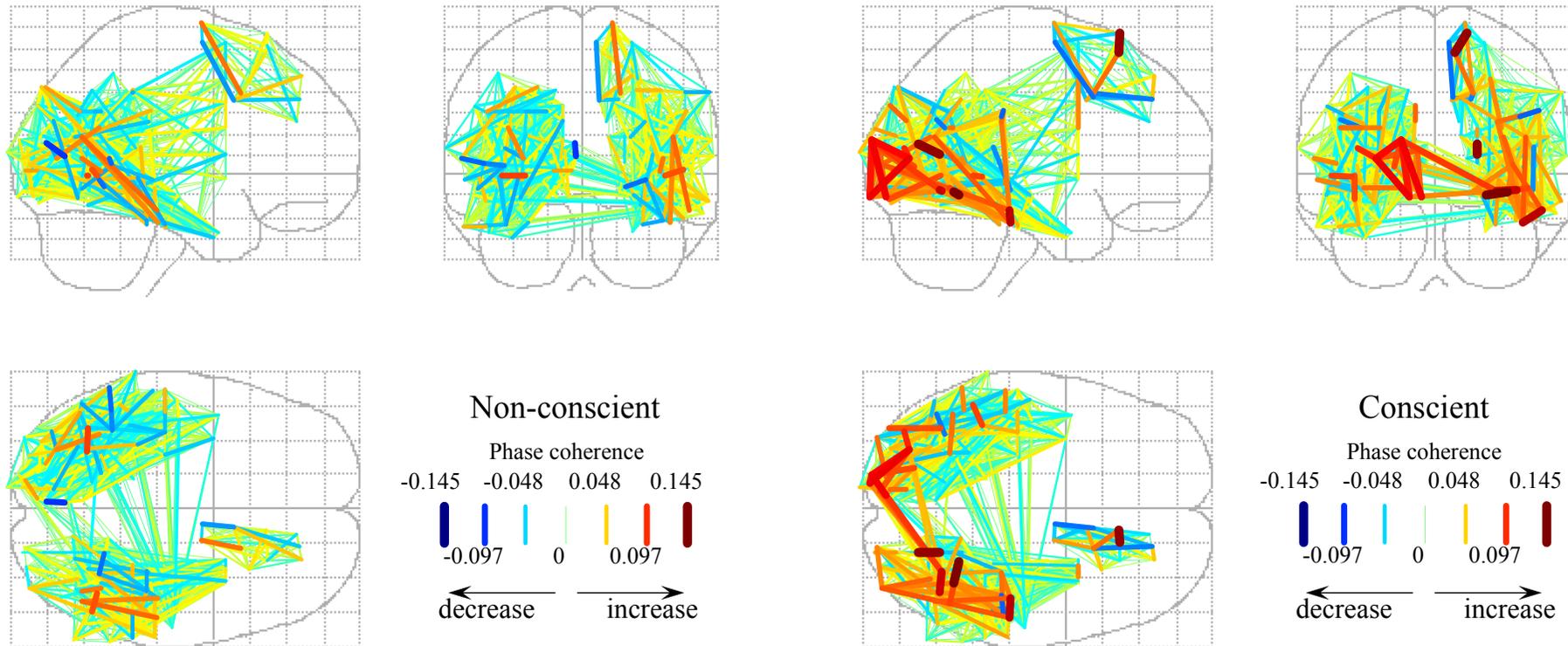


Signature d'un mot conscient

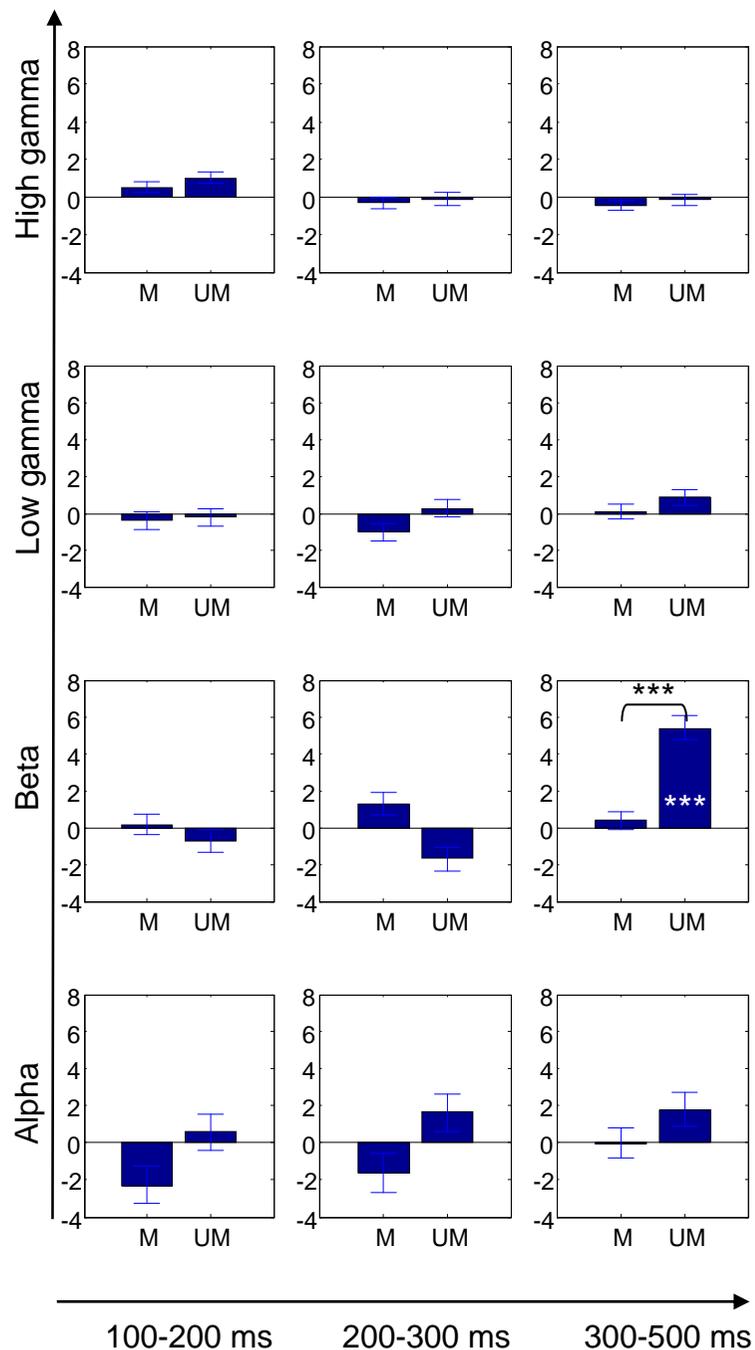


Troisième signature de la conscience: la synchronisation à longue distance, mesurée par la cohérence de phase dans la bande bêta

Cohérence de phase dans la bande bêta (13-30 Hz, 300-500 ms)



Cohérence de phase



Conclusions:

- La cohérence de phase augmente, uniquement tardivement, et uniquement lors des essais conscients
- Seule la bande bêta (13-30 Hz) est concernée – peut-être parce que sa période plus longue (30-80 ms) permet plus facilement de synchroniser des régions distantes en dépit des délais temporels qui les séparent (Fries, 2005)
- Il est curieux de voir que la synchronie peut augmenter alors que la puissance diminue → peut-être compatible avec l'activation d'un réseaux distribué, synchrone, mais impliquant seulement une fraction faible de neurones activés (*sparse coding*)

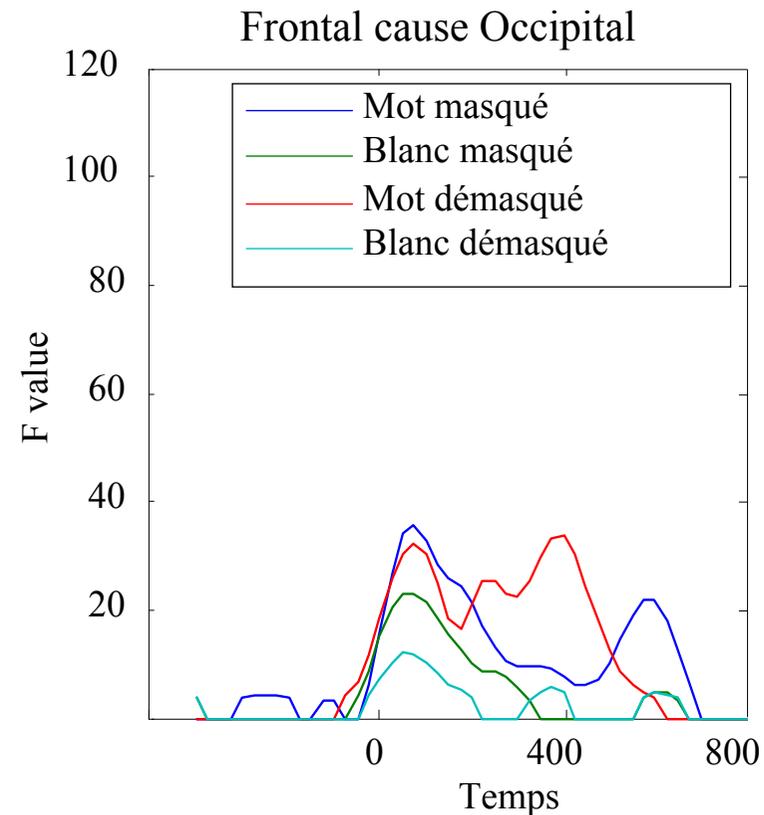
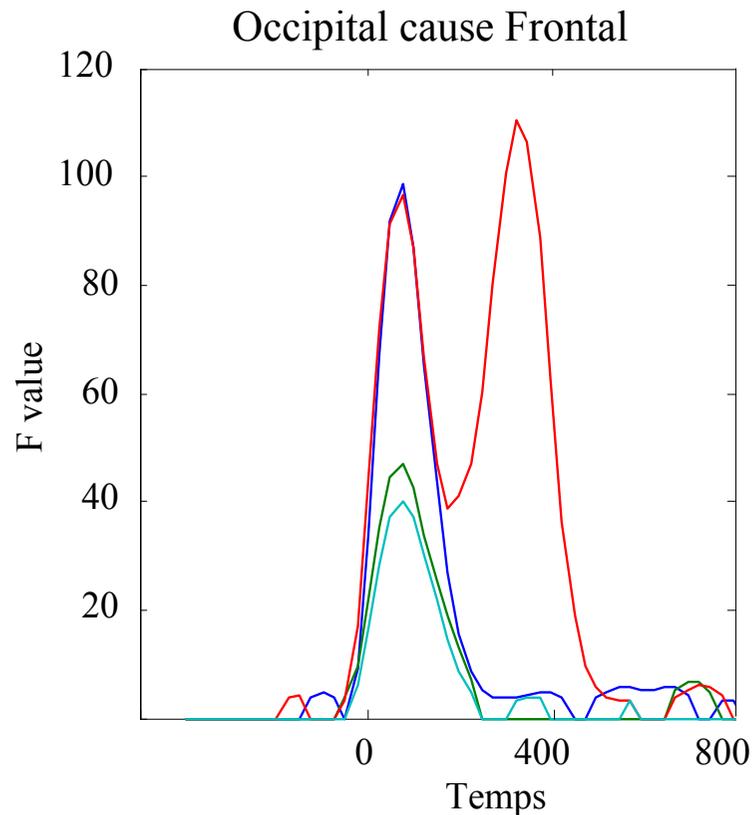
Quatrième signature de la conscience:

L'augmentation tardive des relations causales à longue distance

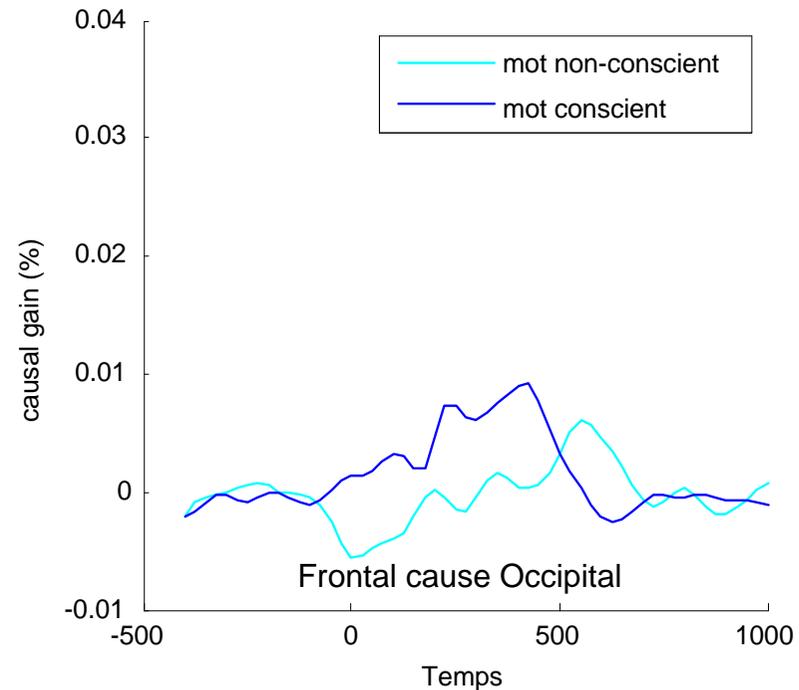
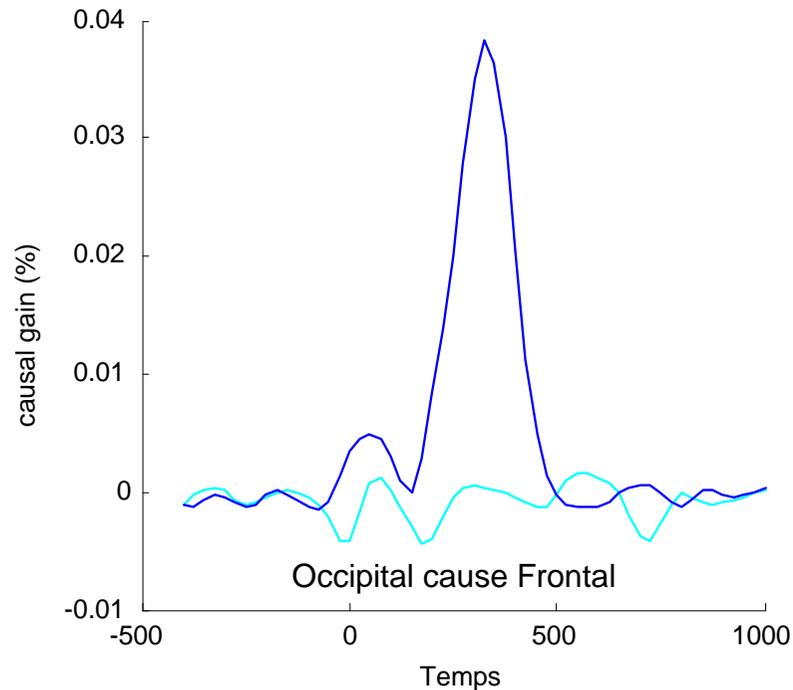
Pour une paire d'électrodes i-j, la causalité de Granger de j vers i peut être estimée par une régression multiple à travers le temps:

- le passé récent de l'électrode j peut-il prédire une fraction significative de la variance du signal présent de l'électrode i?
- le fait-il mieux qu'un simple modèle auto-régressif qui utilise le passé récent de l'électrode i?

L'intérêt est qu'il s'agit d'une mesure directionnelle: i peut causer j, j causer i, ou les deux



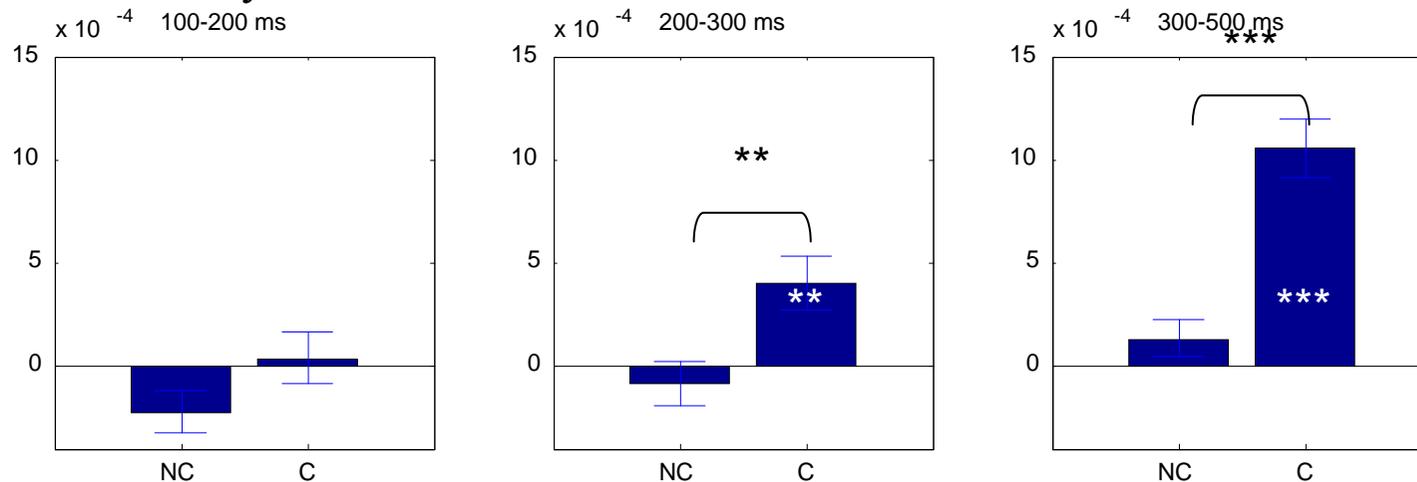
Quatrième signature de la conscience: L'augmentation tardive des relations causales à longue distance



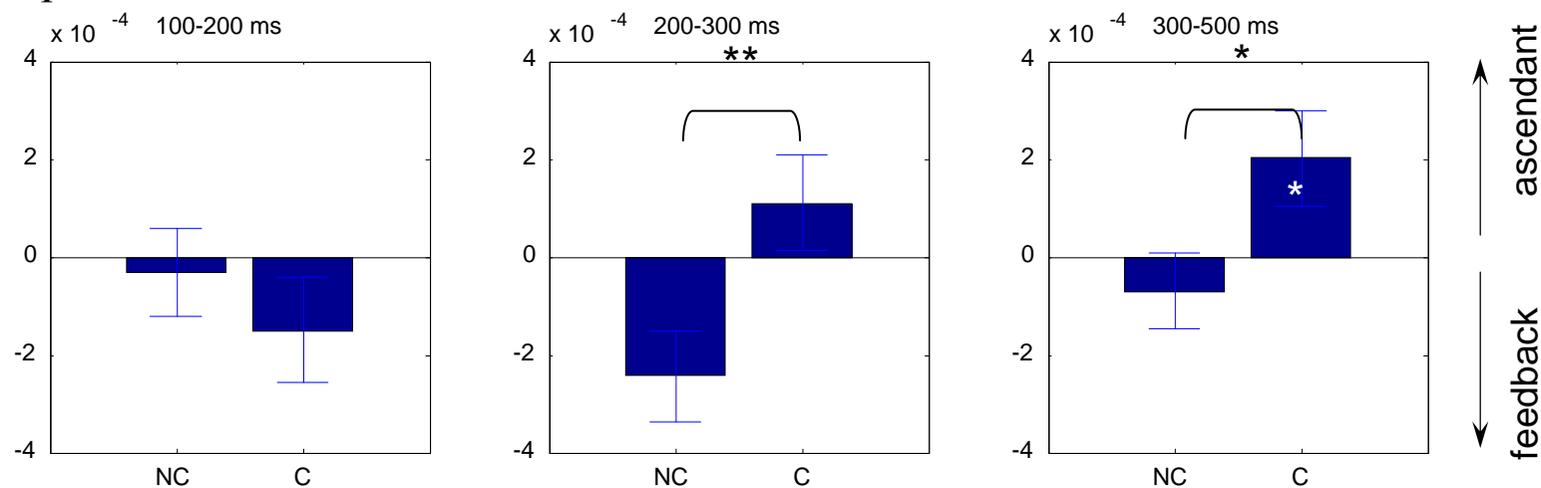
- Le **gain causal** est défini comme l'augmentation de la variance prédite lorsque l'électrode j est utilisée, quand le mot est présent versus quand le mot est absent
- Les changements des relations causales peuvent être décrits par deux mesures
 - Le gain causal moyen (moyenné à travers les deux directions $i \rightarrow j$ et $j \rightarrow i$)
 - Le déséquilibre causal (ascendant moins descendant)

Quatrième signature de la conscience: L'augmentation tardive des relations causales à longue distance

Gain causal moyen



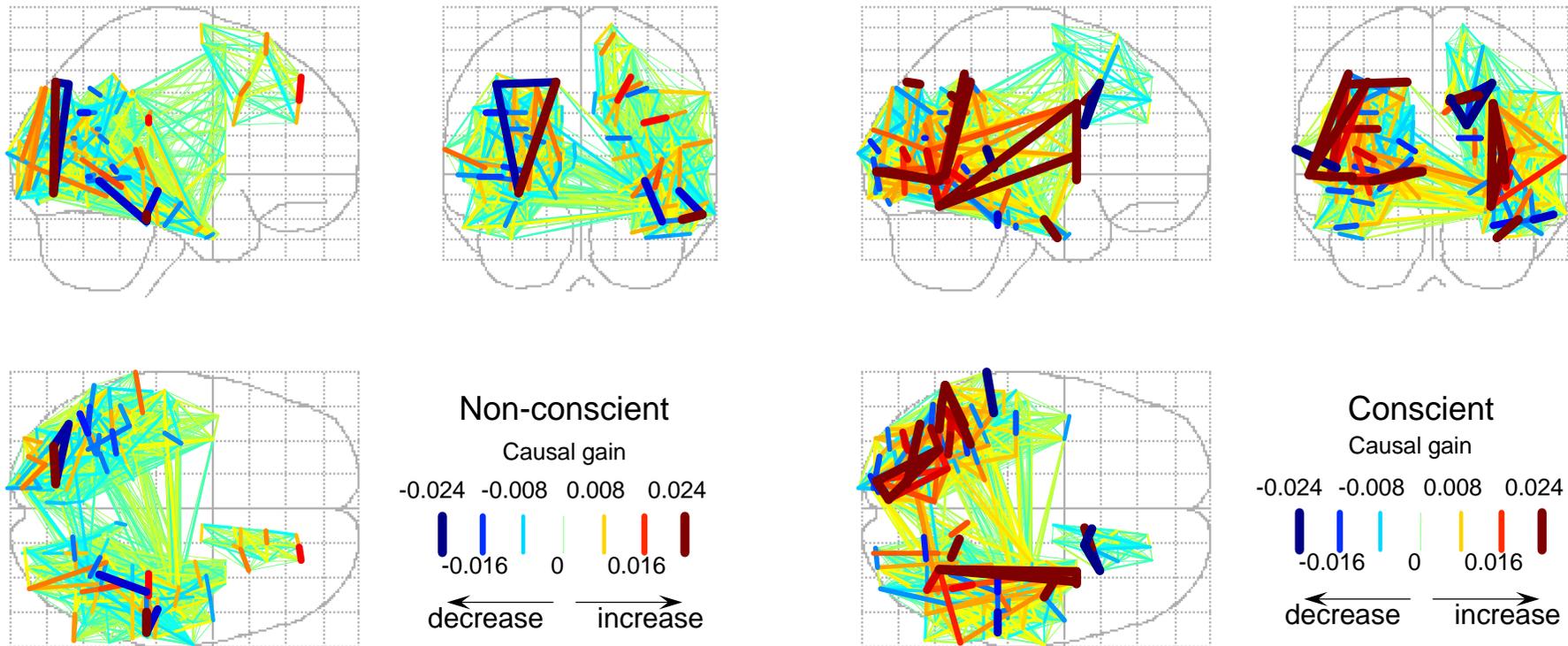
Déséquilibre causal



*, p<0.05; **, p<0.01; ***, p<0.001

Quatrième signature de la conscience: L'augmentation tardive des relations causales à longue distance

Gain causal moyen



Conclusion: les signatures de la conscience

- L'accès d'une information à la conscience se mesure facilement de nombreuses manières différentes et congruentes
 - En IRMf, activation préfronto-pariétale distribuée
 - En potentiels évoqués, apparition d'une composante intense, tardive et globale (P3)
 - Amplification simultanée des régions sensorielles pertinentes
 - En intracrânien:
 - Amplification modeste des potentiels évoqués précoces
 - Potentiels évoqués tardifs (>300 ms), distribués dans l'ensemble du cortex, mais particulièrement au niveau du cortex préfrontal
 - Augmentation tardive de la puissance dans la bande gamma
 - Augmentation tardive de la synchronie de phase dans la bande bêta
 - Augmentation tardive des relations de causalité entre électrodes distantes

Tous ces phénomènes surviennent simultanément et semblent indexer le même phénomène d'ignition tardive (>300 ms)

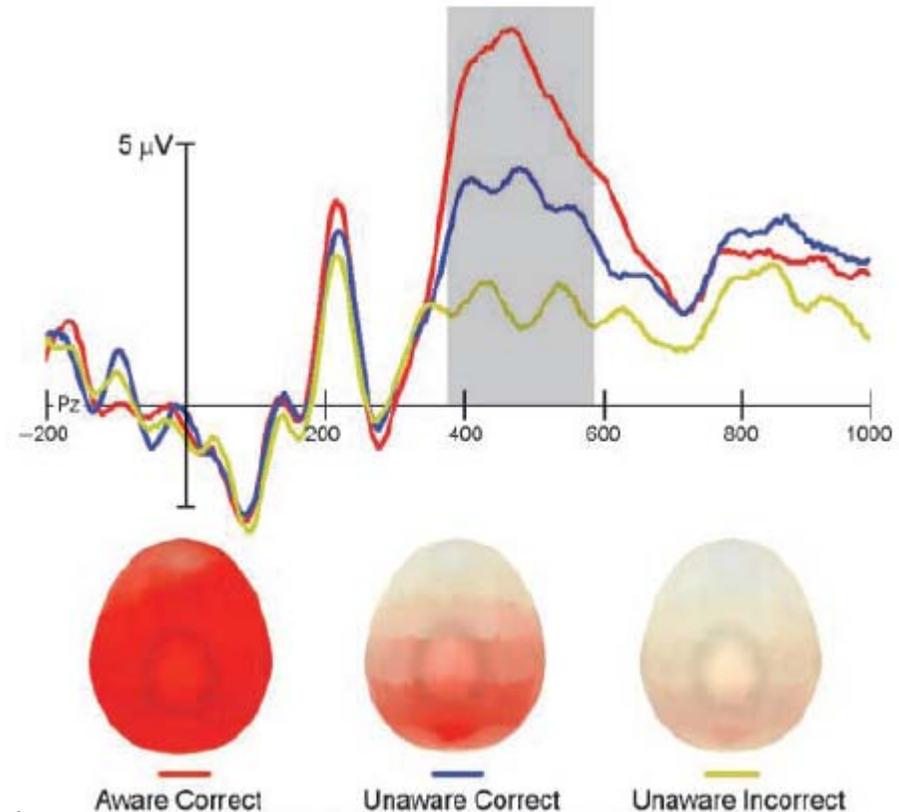
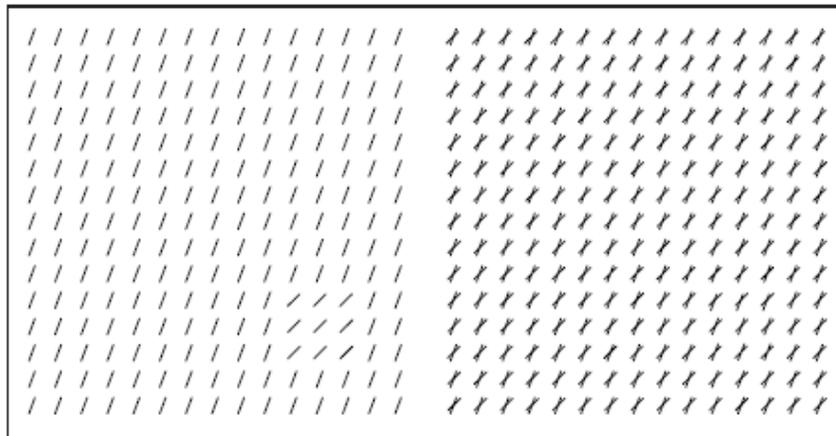
Les critiques de la conscience tardive

1. La P3 est-elle un artefact de la profondeur supérieure du traitement conscient?

Lamy, D., Salti, M., & Bar-Haim, Y. (2009). Neural Correlates of Subjective Awareness and Unconscious Processing: An ERP Study. *J Cogn Neurosci*, 21(7), 1435-1446.

Choix de stimuli et d'une tâche (localisation spatiale) qui conduisent à un pourcentage élevé de réponses correctes sans conscience (51.6% de *blindsight*, hasard = 25%)

(idée similaire à celle de Lau & Passingham, 2006)



La P3 frontale reste significativement supérieure dans les essais corrects conscients que dans les essais corrects non-conscients, même après correction pour une fraction d'essais corrects par hasard.

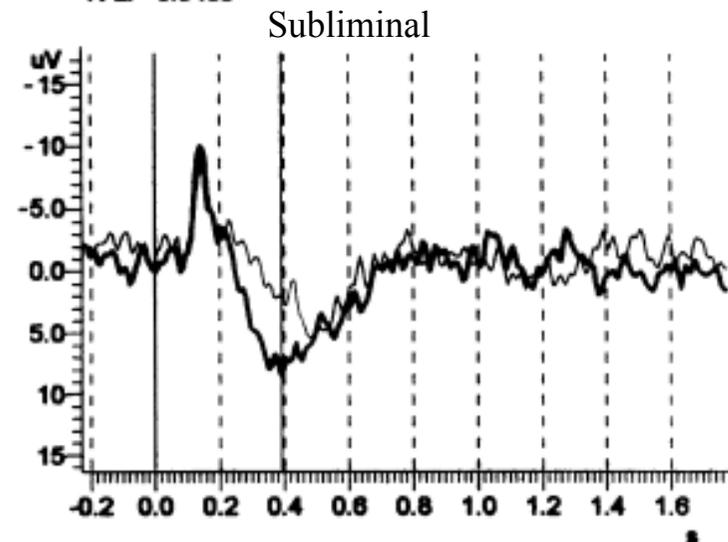
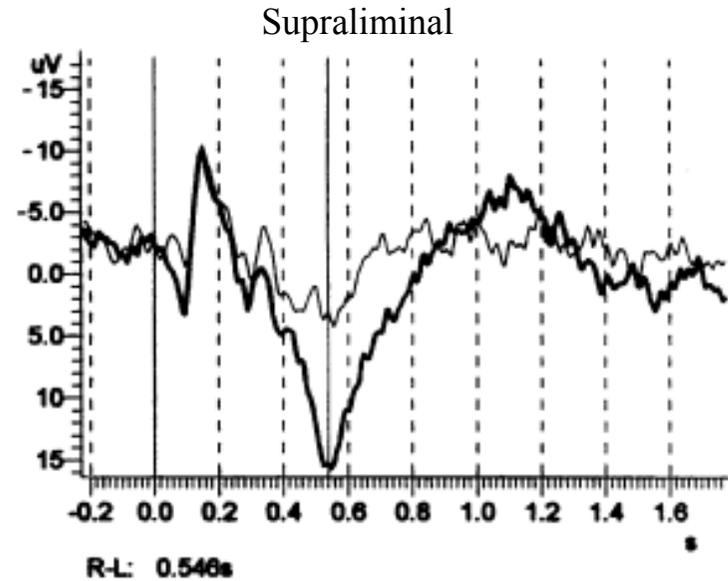
Les critiques de la conscience tardive

2. La P3 peut-elle exister sans conscience?

Brazdil, M., Rektor, I., Dufek, M., Jurak, P., & Daniel, P. (1998). Effect of subthreshold target stimuli on event-related potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 107(1), 64-68.

Oui:

Les travaux de Brazdil suggèrent que le début d'une onde P3 peut être évoqué par des stimuli visuels rares (X parmi des O), même lorsque la durée est réduite à 10 ms.



Les critiques de la conscience tardive

2. La P3 peut-elle exister sans conscience?

Brazdil, M., Rektor, I., Daniel, P., Dufek, M., & Jurak, P. (2001). Intracerebral event-related potentials to subthreshold target stimuli. *Clin Neurophysiol*, 112(4), 650-661.

Oui:

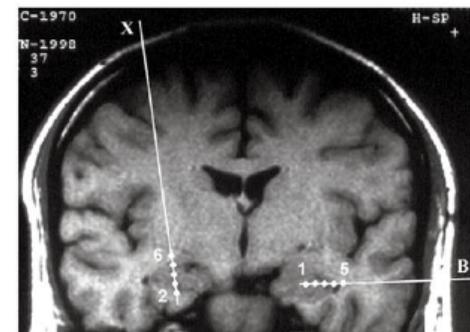
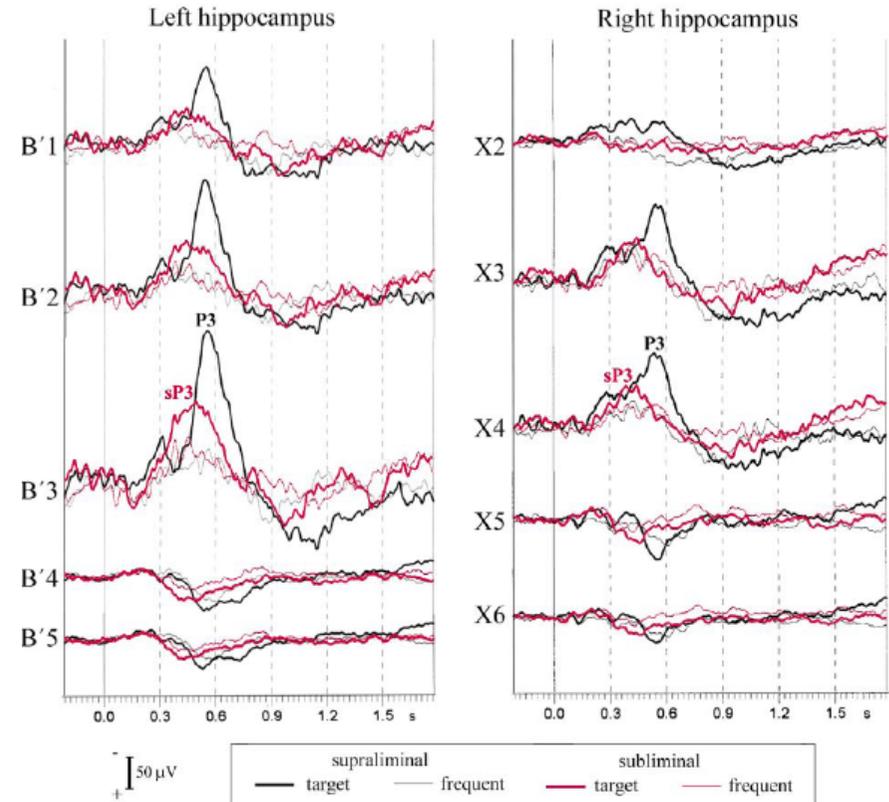
Les travaux de Brazdil suggèrent que le début d'une onde P3 peut être évoqué par des stimuli visuels rares (X parmi des O), même lorsque la durée est réduite à 10 ms.

Mais ...

- La P3 est massivement réduite, seule sa partie précoce est préservée (« ignition manquée »)

- La non-visibilité n'est pas toujours bien contrôlée (19% de détection dans Brazdil et al, 1998)

- L'ambiguïté consiste à appeler P3 toute onde vaguement positive sur le sommet du scalp (cf Van Gaal et al, 2010, sous presse)



Les critiques de la conscience tardive

3. Existe-t-il des corrélats bien plus précoces de la conscience?

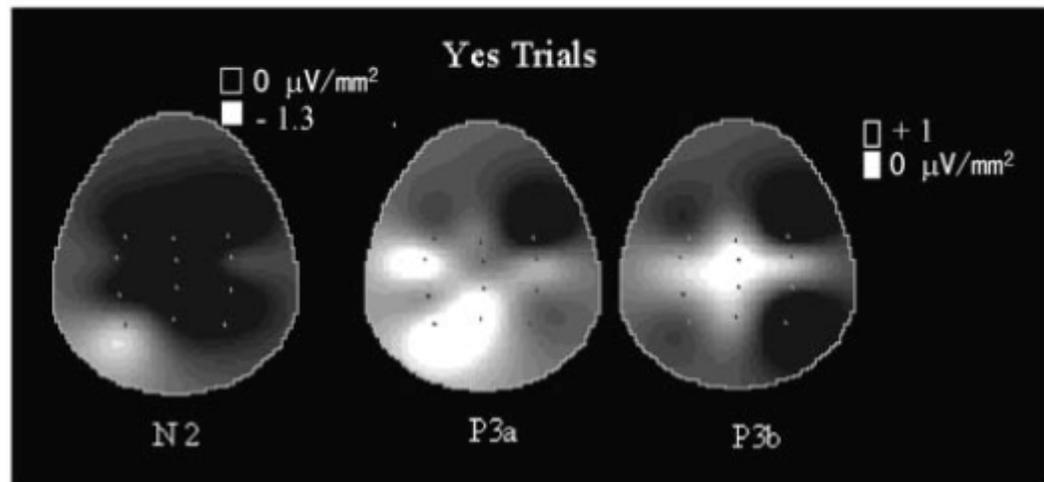
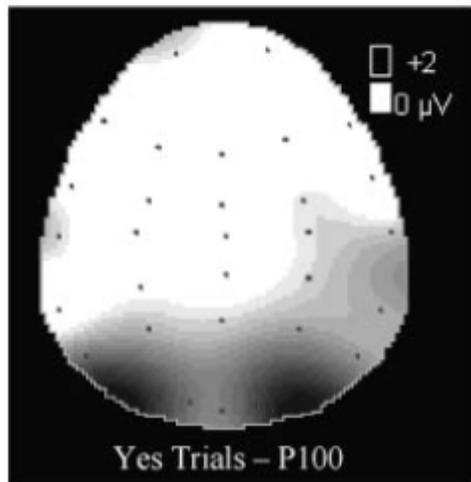
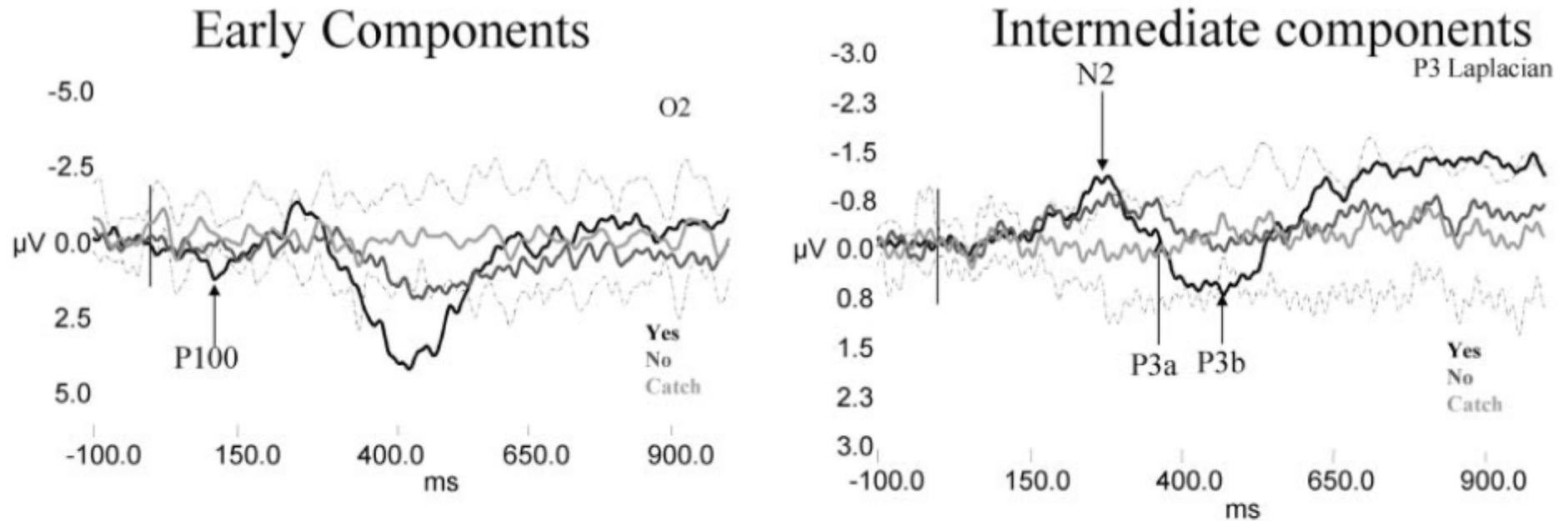
Certains observent des corrélations entre conscience et ondes précoces (par exemple l'onde P1, Pins & ffytche, 2003).

D'autres observent que le contraste masqué/démasqué ne montre *que* des différences occipitales (Tse et al., 2005)

Deux sources de confusion:

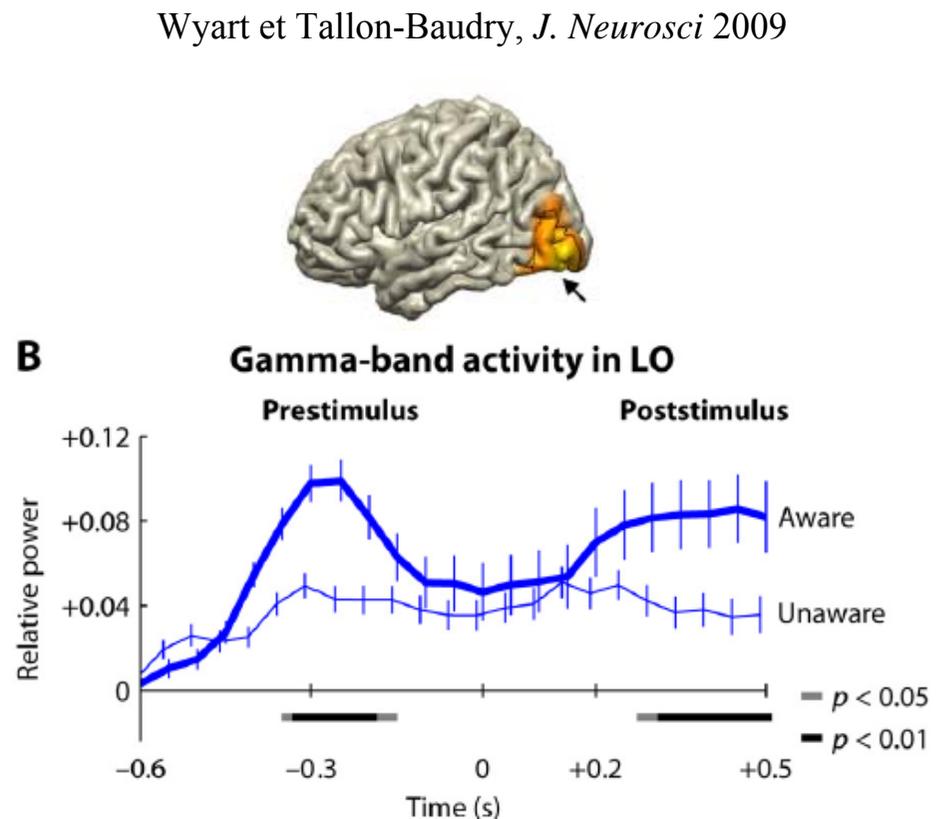
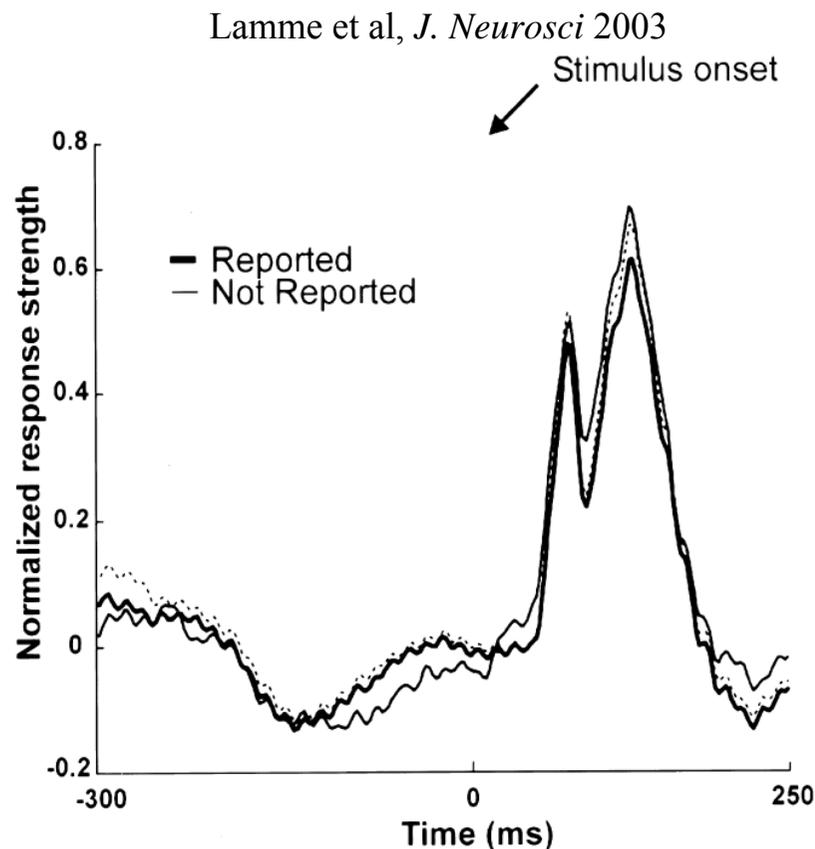
- Corrélats précoces = précurseurs de la conscience, mais non pas déjà état de conscience
- Le démasquage ne suffit pas à la prise de conscience. L'attention est également cruciale

Exemple 1: Pins & ffytche (2003) observent une réponse précoce (P1) déjà différente selon qu'une grille faiblement contrastée, présentée au seuil, soit vue ou pas vue.

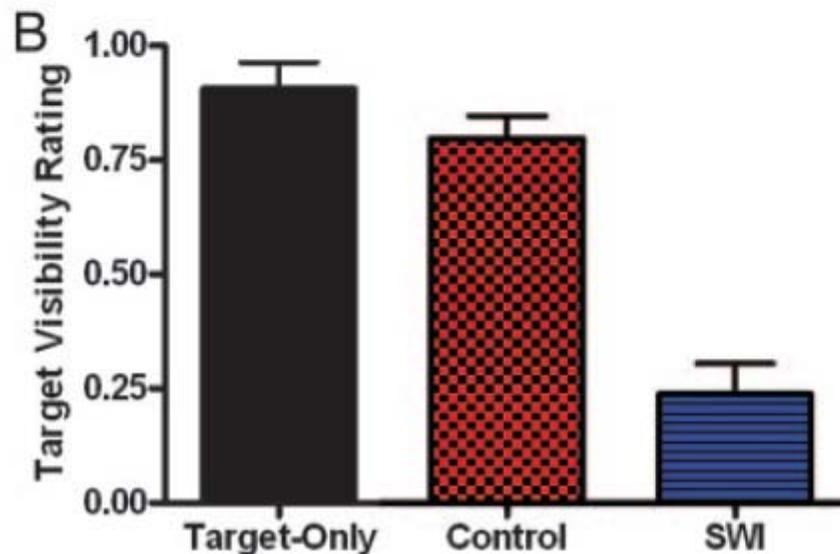
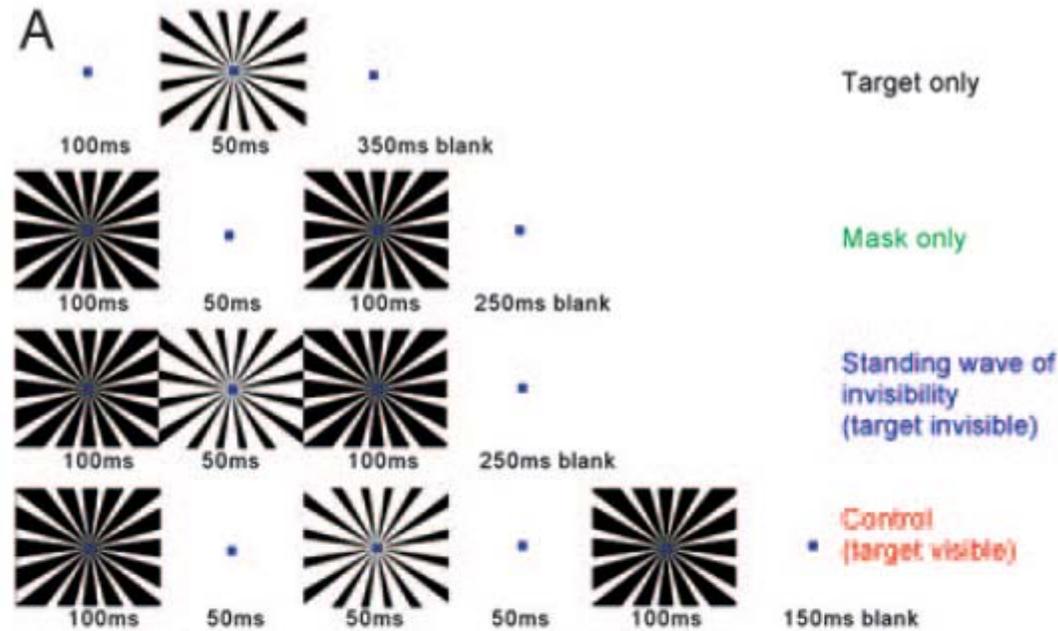


Mais...

- Cette différence n'est pas vue dans d'autres contrastes entre conscient et non-conscient
→ Elle est probablement particulière à la présentation de stimuli de faible contraste, au seuil de conscience
- Des différences de ce type peuvent même être observées *avant* le stimulus
→ changements attentionnels ou activité spontanée biaisant la décision finale
- Ne pas confondre *corrélats* de la conscience et *bases cérébrales* de l'état conscient



Exemple 2: Tse et al. (*PNAS*, 2005)



Stimuli similaires à ceux des expériences précédentes:

- Cible seule
- Masque seule
- Cible + masque (« standing wave of invisibility »)
- Condition de contrôle avec visibilité

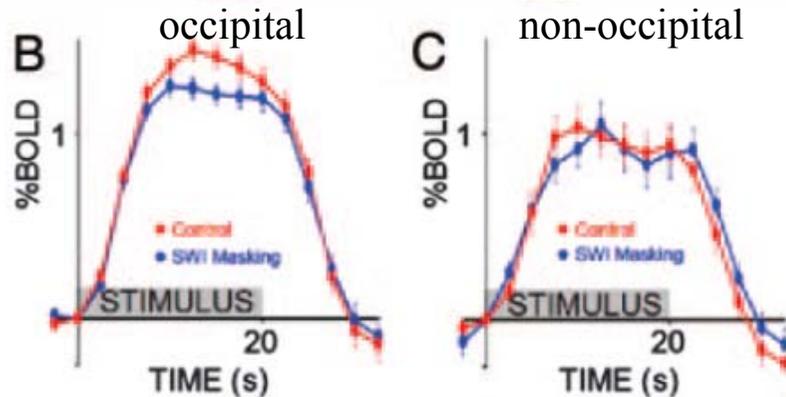
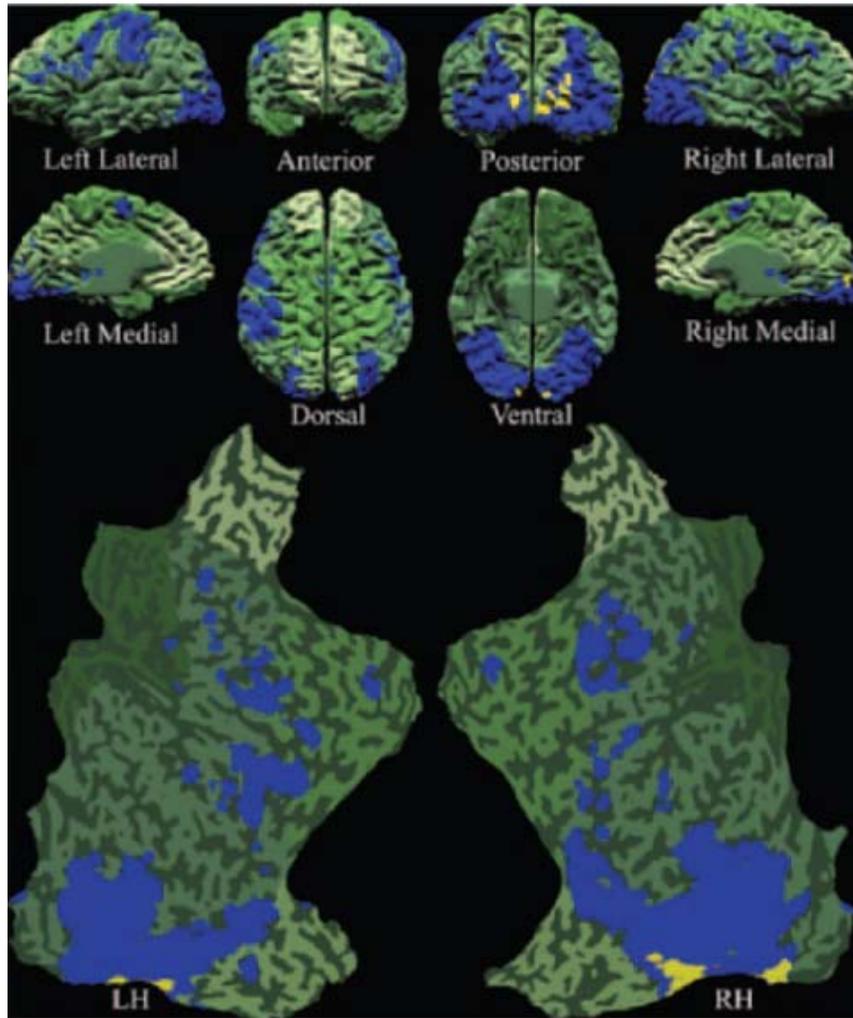
Toutefois, une différence essentielle: l'attention des sujets est entièrement tournée vers une tâche difficile (détection de légers changements de couleur du point de fixation)

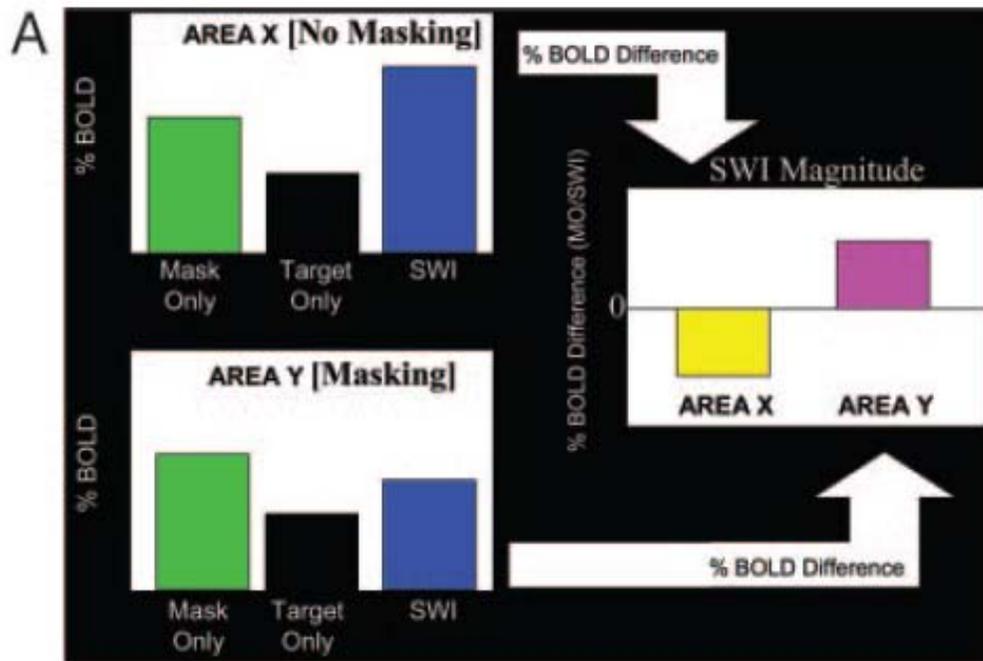
et ce pendant les *trois jours* de scanning!

Exemple 2: Tse et al. (*PNAS*, 2005)

Une petite fraction du réseau évoqué par la cible seule (en bleu) montre un effet de visibilité de la cible (différence entre cible+masque et masque seul, en jaune)

Seules les régions occipitales semblent montrer un corrélat de la visibilité!



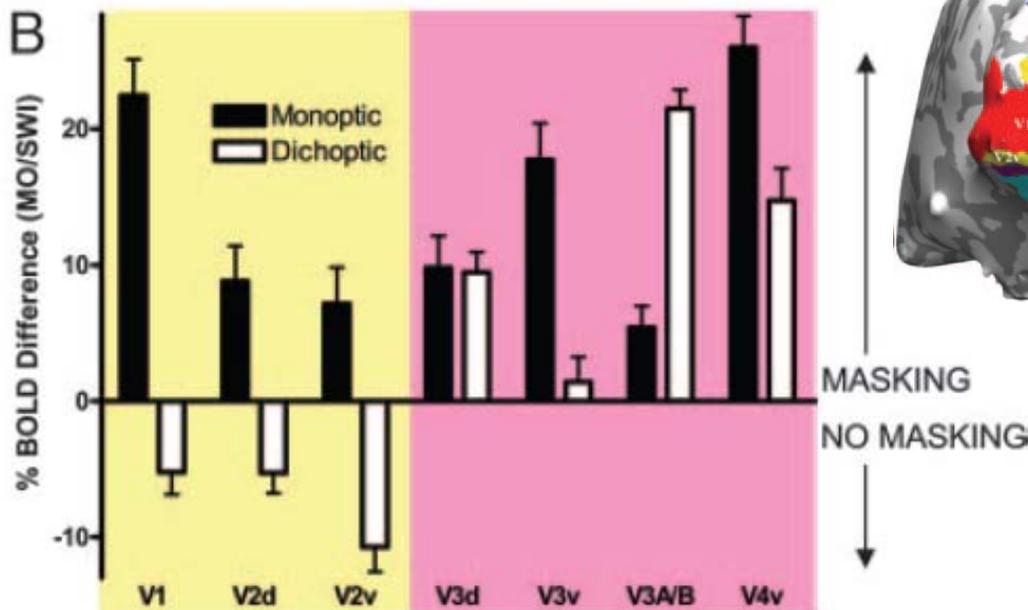


L'analyse rétinotopique suggère que

- Dans les aires sans masquage, il doit y avoir moins d'activations pour masque seul que pour cible+masque

- Dans les aires où se produit le masquage, cette différence doit s'inverser

Les résultats indiquent que le masquage dichoptique survient principalement dans les aires V3 et V4.

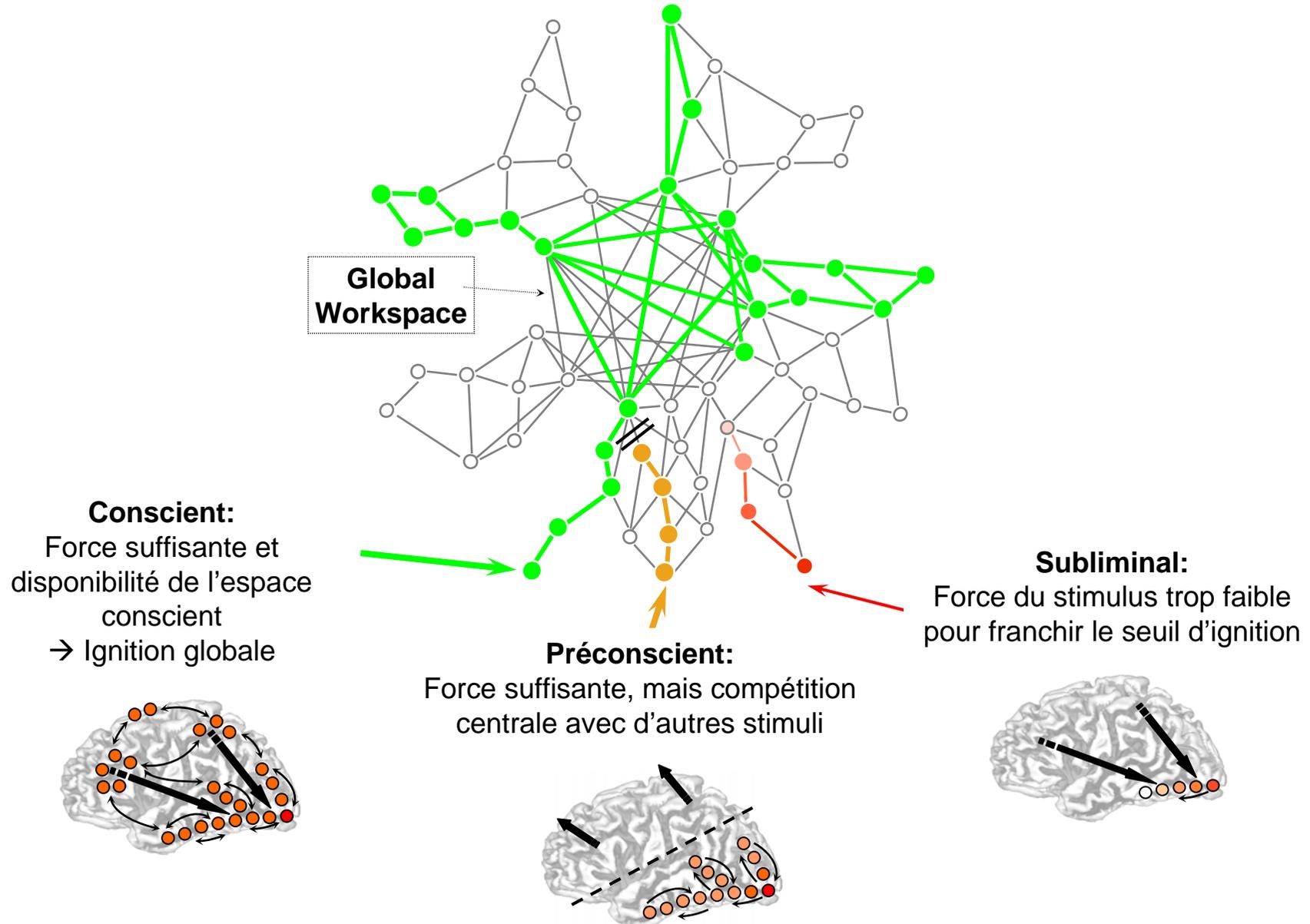


“These results suggest that awareness of simple unattended targets, such as those used in the SWI, is generated by circuits within the occipital cortex”

Non! Ils montrent seulement que le masquage démarre dans le cortex occipital. Mais démasquer ne suffit pas à rendre les stimuli conscients: visible \neq vu

Le modèle de l'espace de travail global: traitement **subliminal**, **préconscient** ou **conscient**

Dehaene, Changeux, Naccache, Sackur, & Sergent, TICS, 2006

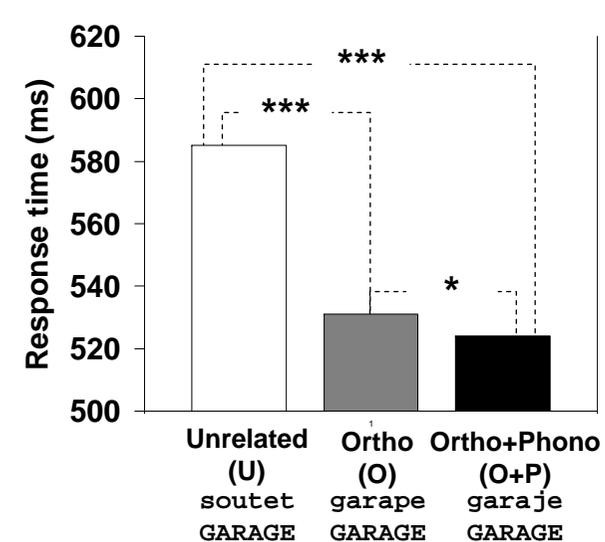
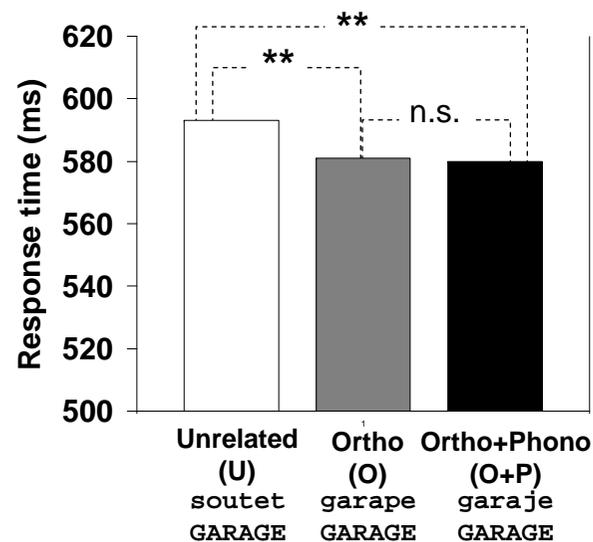
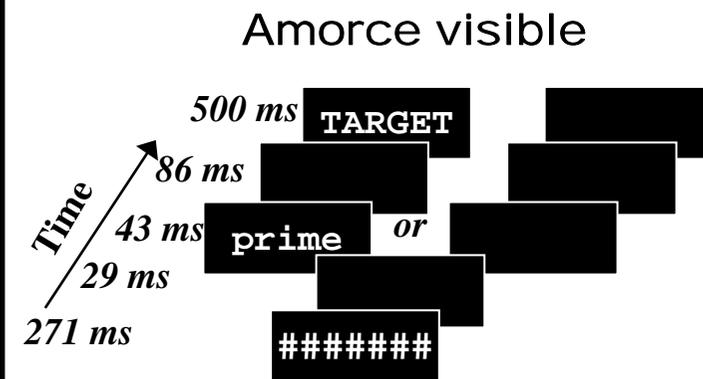
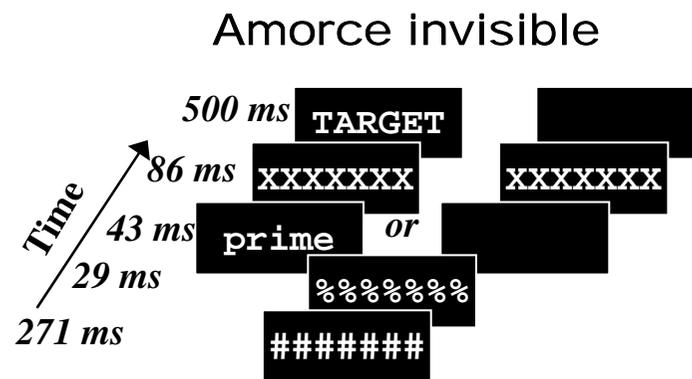


Une expérience de démasquage sans attention

Kouider, S., Dehaene, S., Jobert, A., & Le Bihan, D. (2007). Cerebral bases of subliminal and supraliminal priming during reading. *Cereb Cortex*, 17(9), 2019-2029.

Chaque mot cible est précédé par une amorce qui peut être visible ou invisible

Le sujet ne prête attention qu'à la cible (tâche de classification sémantique: naturel ou artificiel?)



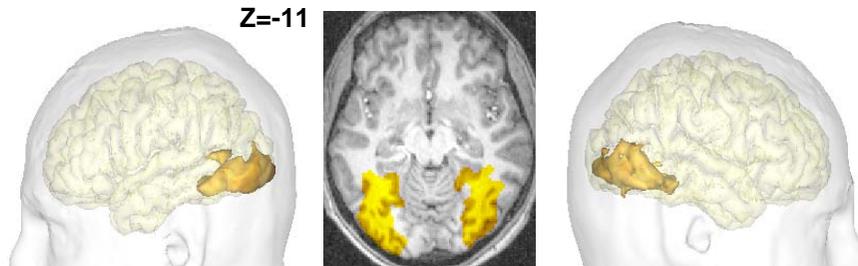
Résultats comportementaux:

Effet d'amorçage subliminal, avec effet phonologique seulement dans la condition « visible »

Une expérience de démasquage sans attention

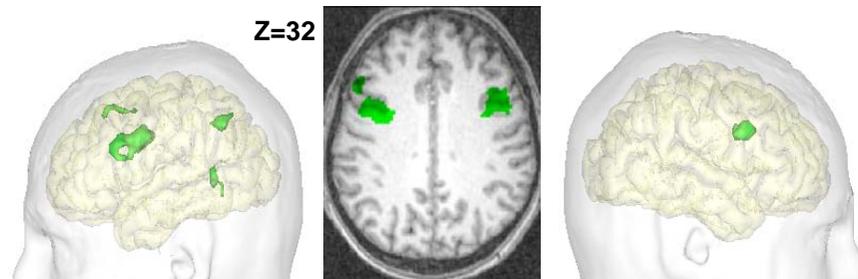
Kouider, S., Dehaene, S., Jobert, A., & Le Bihan, D. (2007). Cerebral bases of subliminal and supraliminal priming during reading. *Cereb Cortex*, 17(9), 2019-2029.

Effet de visibilité (visible > invisible)



Comme dans Tse et al., la visibilité sans attention corrèle avec une amplification essentiellement occipitale.

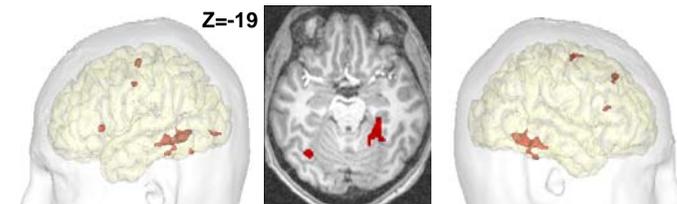
Accroissement d'amorçage avec la visibilité



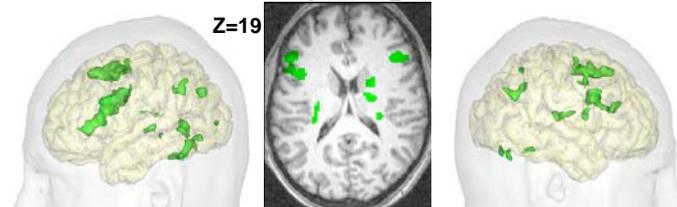
Conclusion: un stimulus visible, mais pas nécessairement vu, entre en compétition pour l'accès à l'espace global fronto-pariétal.

Seul un stimulus visible cause des effets d'amorçage à longue distance

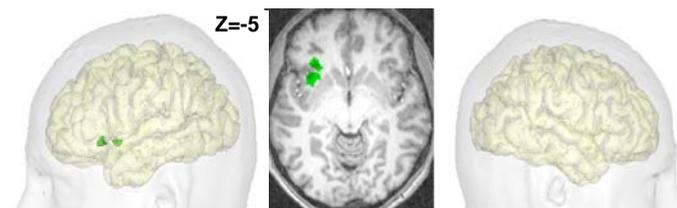
Amorçage subliminal



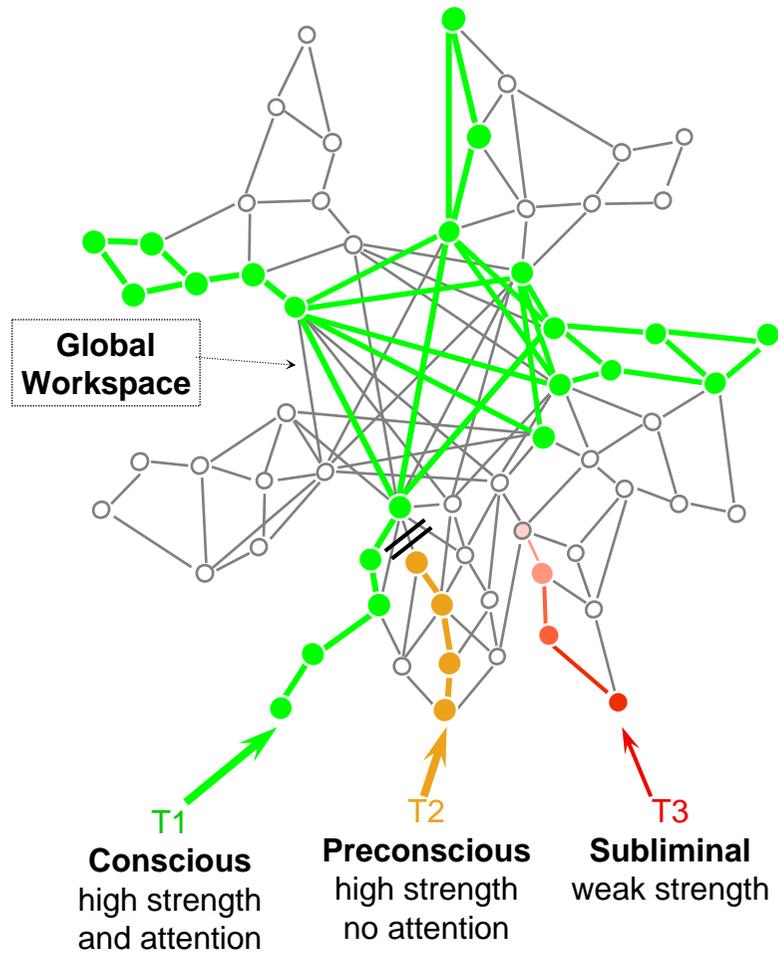
Amorçage supraliminal



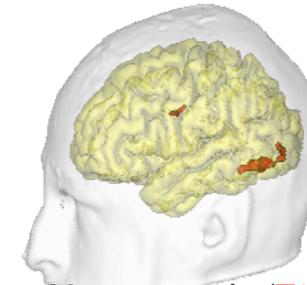
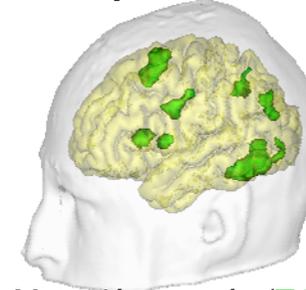
Amorçage phonologique (amorces visibles)



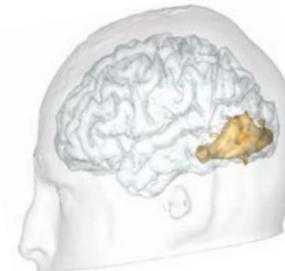
Conclusion: l'imagerie cérébrale renforce la taxonomie proposée



T1 versus **T3** : Les stimuli accédés consciemment activent l'espace de travail global fronto-pariétal



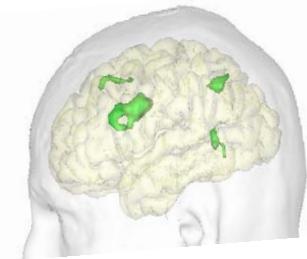
T2 versus **T3** : Les stimuli visibles mais non-accédés activent les régions occipito-temporales et amorcent le réseau fronto-pariétal



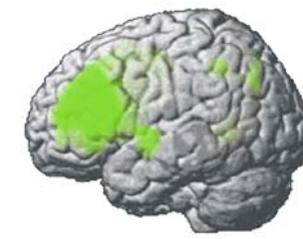
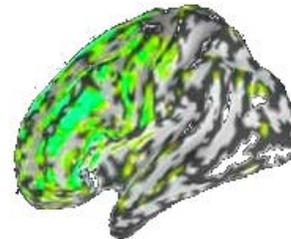
Effet de visibilité

← Sur l'activation

Sur l'amorçage →



T1 versus **T2** : Stimuli visibles mais accédés ou pas



Stimuli vus (T1) ou manqués (T2) durant le clignement attentionnel