

L'imagerie cérébrale en psychologie cognitive

Stanislas Dehaene
Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Deuxième Cours

Méthode d'adaptation
et organisation interne des représentations

Quelques questions que la psychologie cognitive aimerait pouvoir poser:

- **Comment est codé un objet mental?**

Par exemple, comment un mot écrit est-il représenté [sujet du cours 2007]?

- Comme une suite de lettres? Un ensemble de bigrammes? Un arbre structuré avec préfixes, racine, suffixes?

Ces questions se posent à de nombreux niveaux de traitement:

- Format de représentation des visages, des objets, des positions dans l'espace, des gestes, des actions, des intentions, du sens d'un mot ou d'une phrase...

- **Formulation essentiellement équivalente: quelle est la métrique de discrimination des objets mentaux?**

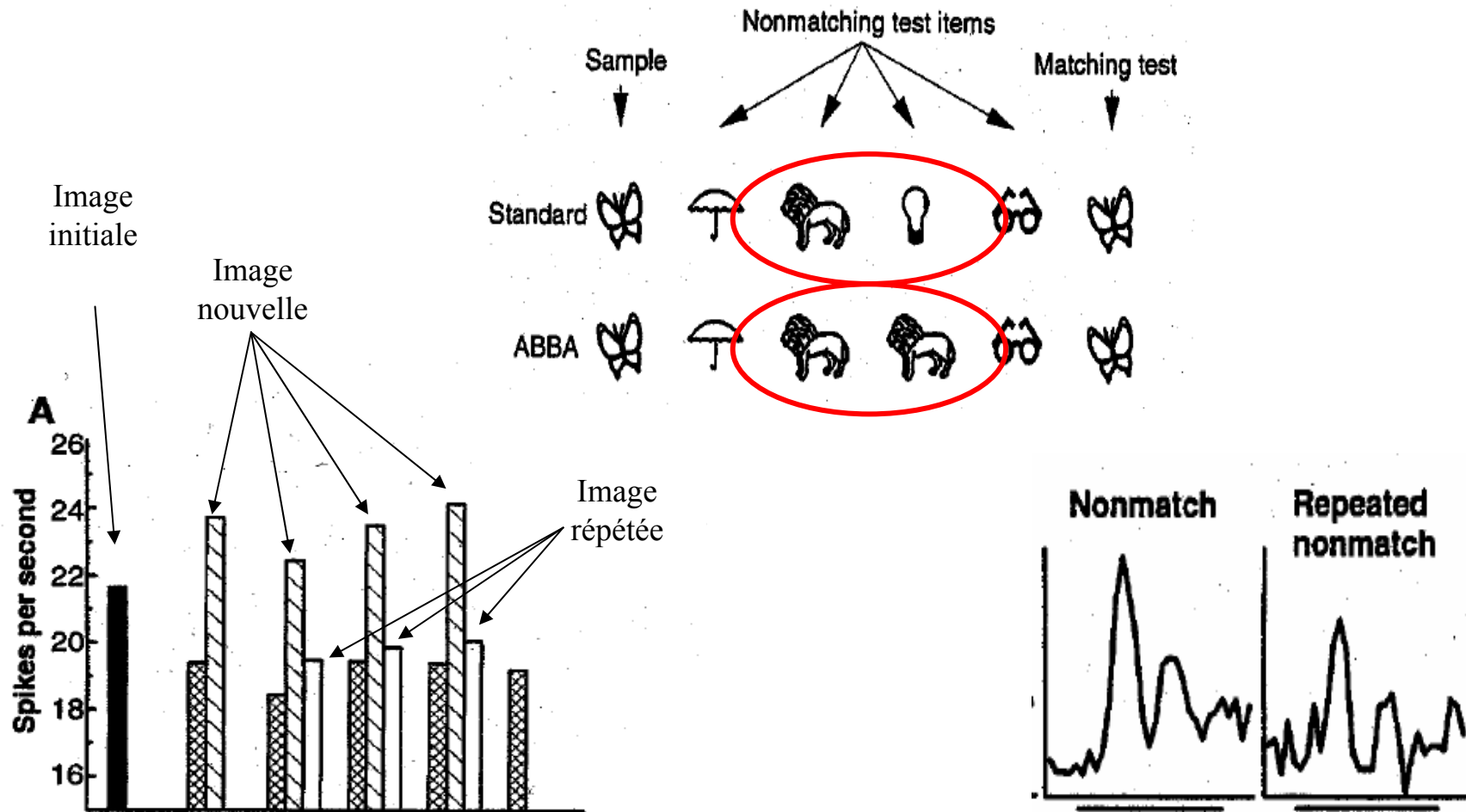
Autrement dit, qu'est-ce qui détermine que deux objets mentaux se ressemblent (à un certain niveau de codage) ou se distinguent?

Exemple: les mots « sofa » et « canapé »; « sceau » et « sot »;

- **Existe-t-il plusieurs codes avec des niveaux d'abstraction croissante?**

Ces questions peuvent être abordées par la méthode d'adaptation

La répétition d'un stimulus induit une diminution de l'activité neuronale



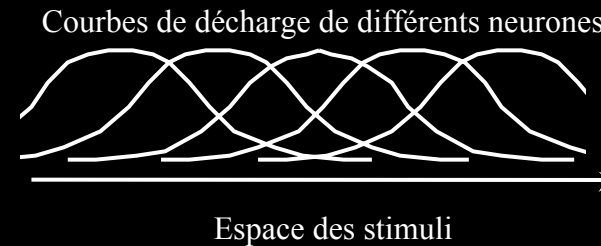
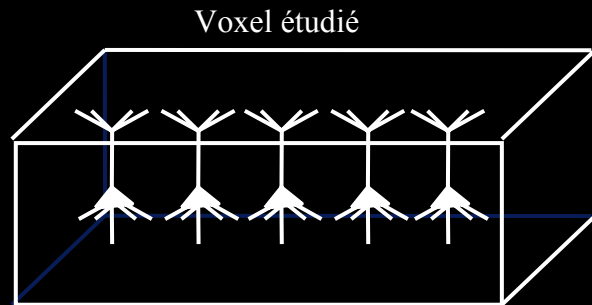
Li, L., Miller, E. K., & Desimone, R. (1993). The representation of stimulus familiarity in anterior inferior temporal cortex. *J Neurophysiol*, 69(6), 1918-1929.

Lueschow, A., Miller, E. K., & Desimone, R. (1994). Inferior temporal mechanisms for invariant object recognition. *Cereb. Cortex.*, 4(5), 523-531.

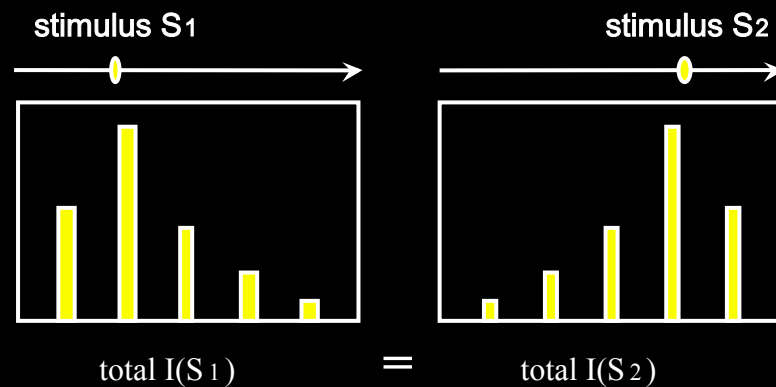
Miller, E. K., & Desimone, R. (1994). Parallel neuronal mechanisms for short-term memory. *Science*, 263(5146), 520-522.

Utilité de la méthode d'adaptation ou d'amorçage ('priming') en imagerie cérébrale

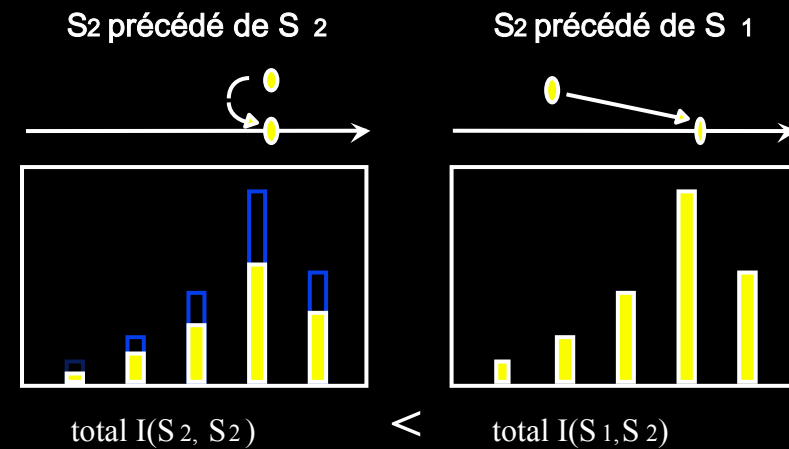
Idée 1: "hyper-résolution"



Méthode de soustraction classique



Méthode d'amorçage

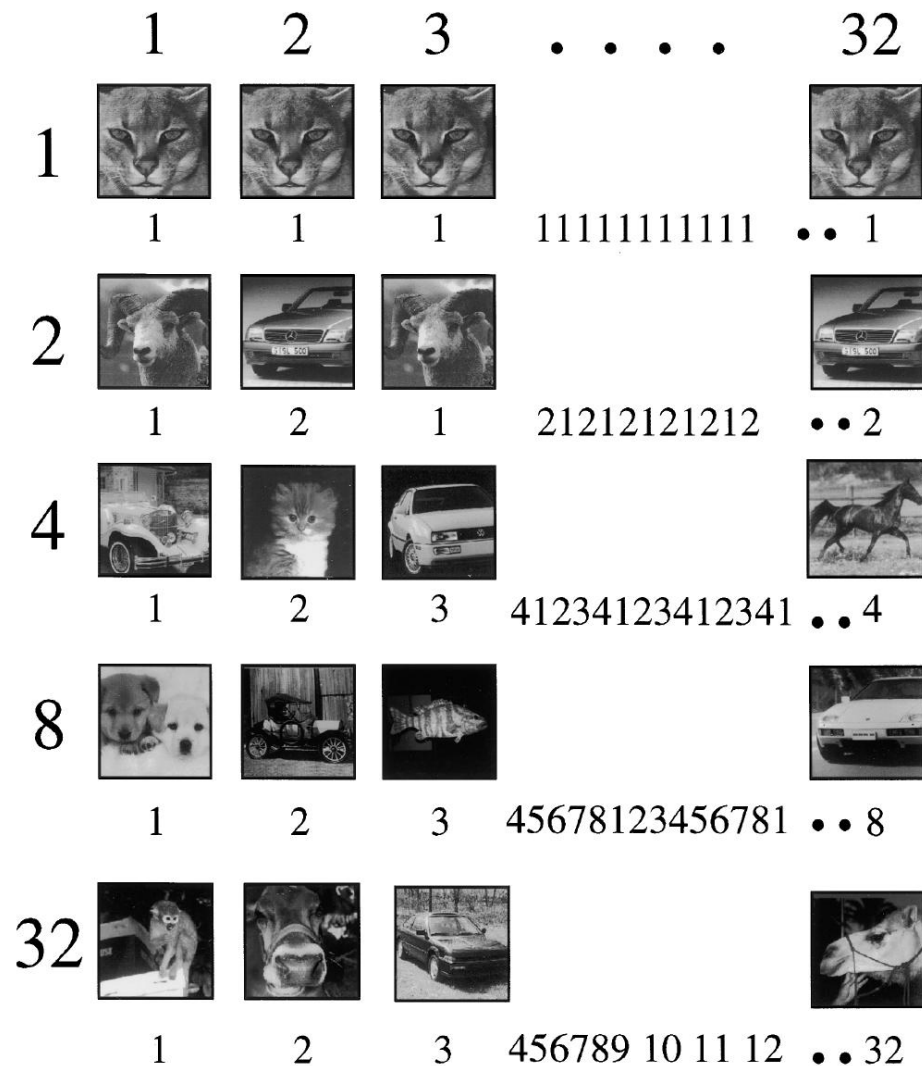


Les codes neuronaux sont différents, mais les activations mesurées sont indistingables.

La différence d'activation indique que S1 et S2 ne sont pas codés par des populations identiques

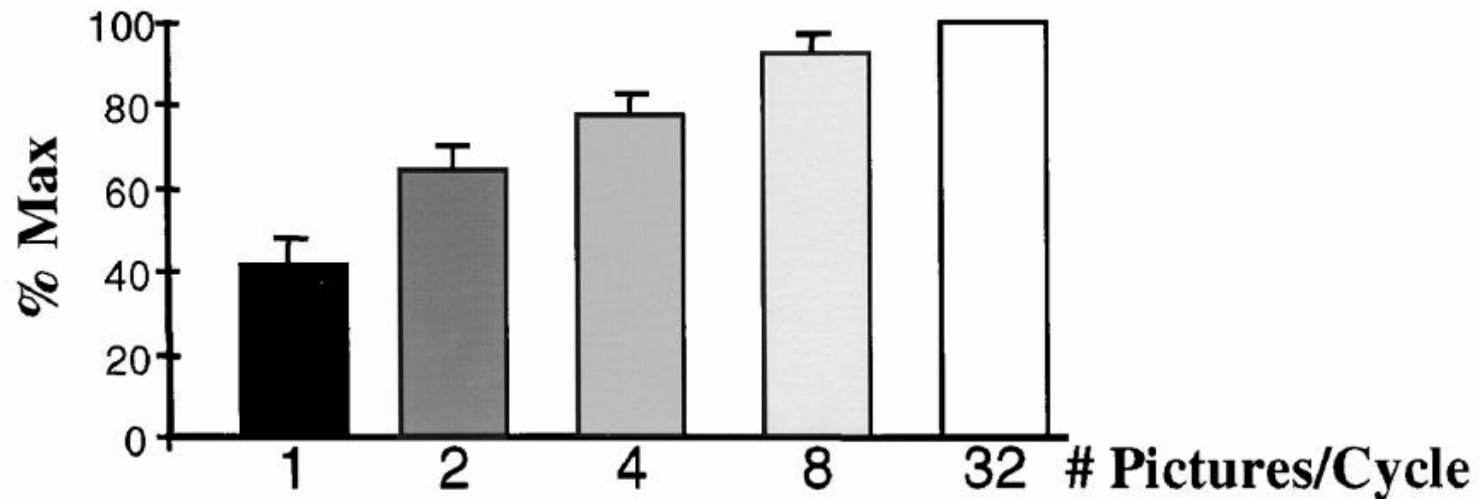
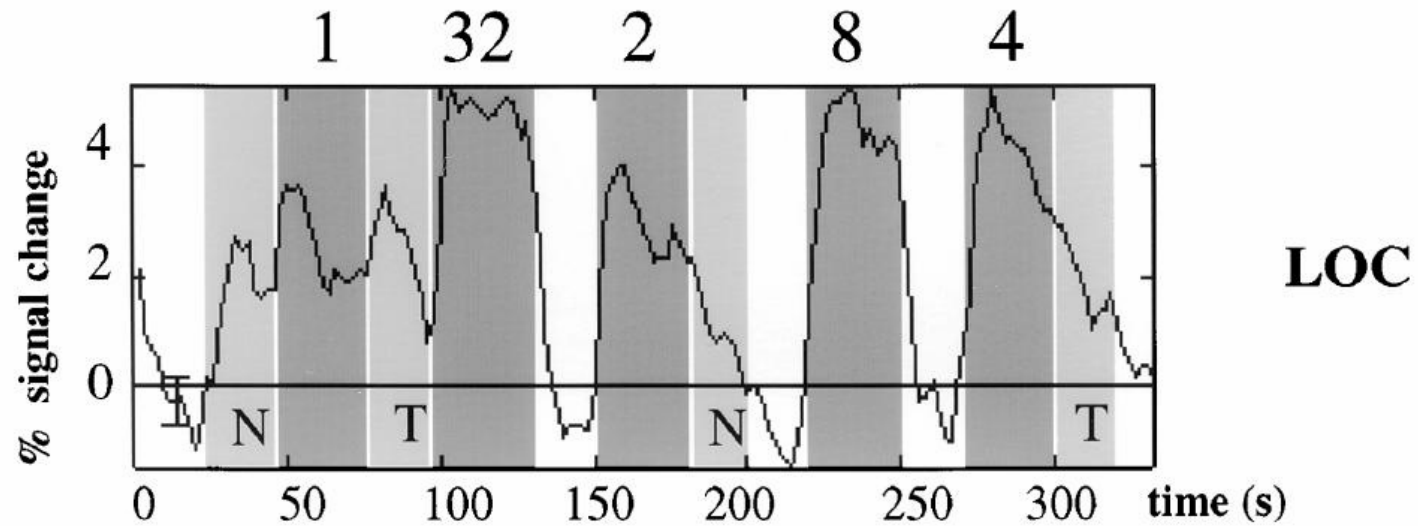
Démonstration principes de Kalanit Grill-Spector:

adaptation du signal d'IRMf dans les régions visuelles en fonction du nombre de répétitions de la même image



Grill-Spector et al. (1999). Differential processing of objects under various viewing conditions in the human lateral occipital complex. *Neuron*, 24(1), 187-203.

Le signal de la région LOC croît avec le nombre d'images différentes présentées.



Grill-Spector et al. (1999). Differential processing of objects under various viewing conditions in the human lateral occipital complex. *Neuron*, 24(1), 187-203.

Idée 2: Inférences sur le code neuronal et la métrique de représentation mentale

- Chaque “code neuronal” ou population de neurones se caractérise par la nature de sa réponse ou de sa non-réponse à des variations des paramètres de l’objet représenté.

- Certains neurones codant pour les visages, par exemple, peuvent répondre à un visage donné, qu’il soit vu de face, de profil, de loin ou de près...

→ Représentation *invariante* de l’identité d’un visage

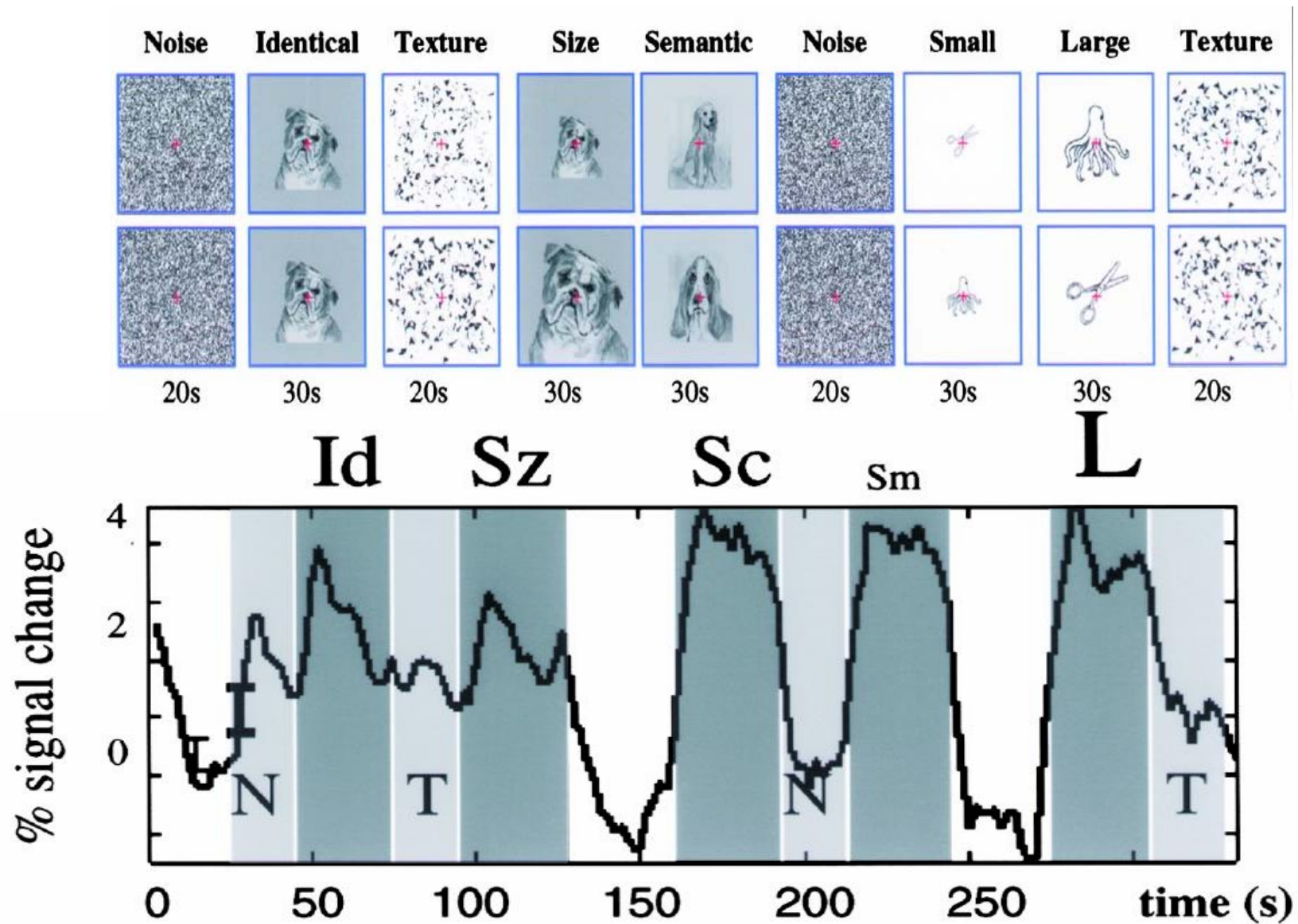
- Avec la méthode d’amorçage,

- On ne voit pas directement si le code neural change en fonction de tel ou tel paramètre

- Mais, on peut examiner indirectement ce qui compte comme une répétition pour une région cérébrale donnée.

Par exemple: observe-t-on une remontée du signal, ou un maintien de l’adaptation, lorsque l’on présente le même objet à une taille différente?

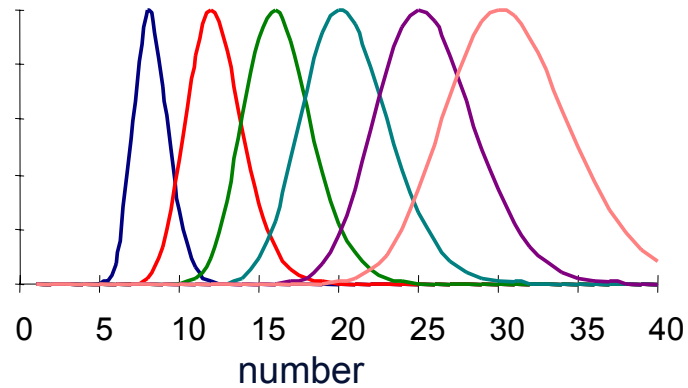
Exemple: Invariance pour la taille de l'image dans la région LOC



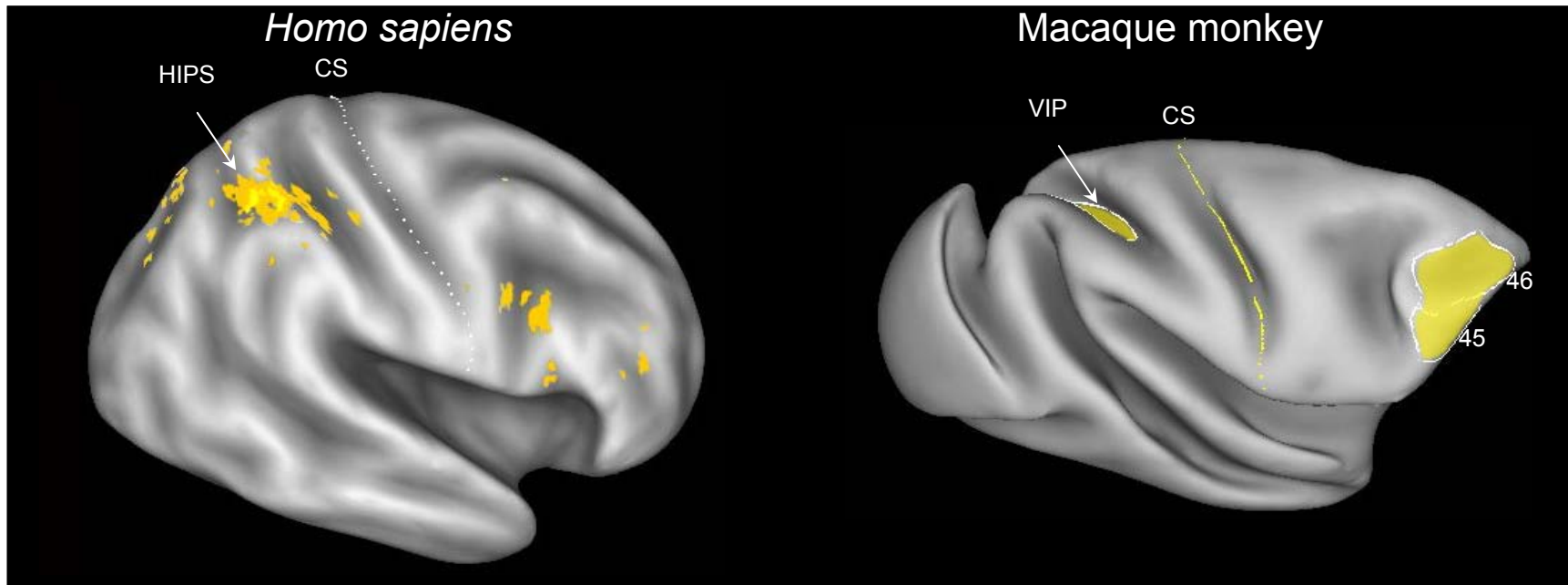
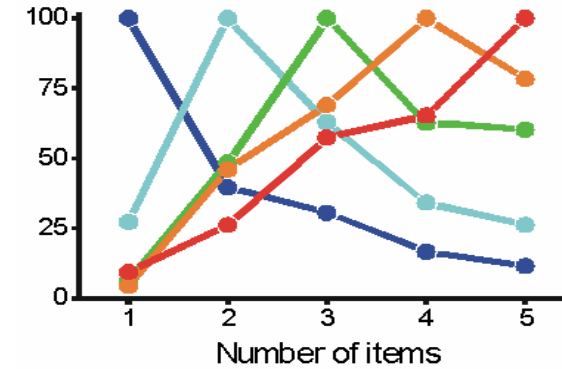
Grill-Spector et al. (1999). Differential processing of objects under various viewing conditions in the human lateral occipital complex. *Neuron*, 24(1), 187-203.

Une autre application: le codage du nombre dans le cerveau (Andreas Nieder and Earl Miller)

Predicted tuning (Dehaene & Changeux, 1993)

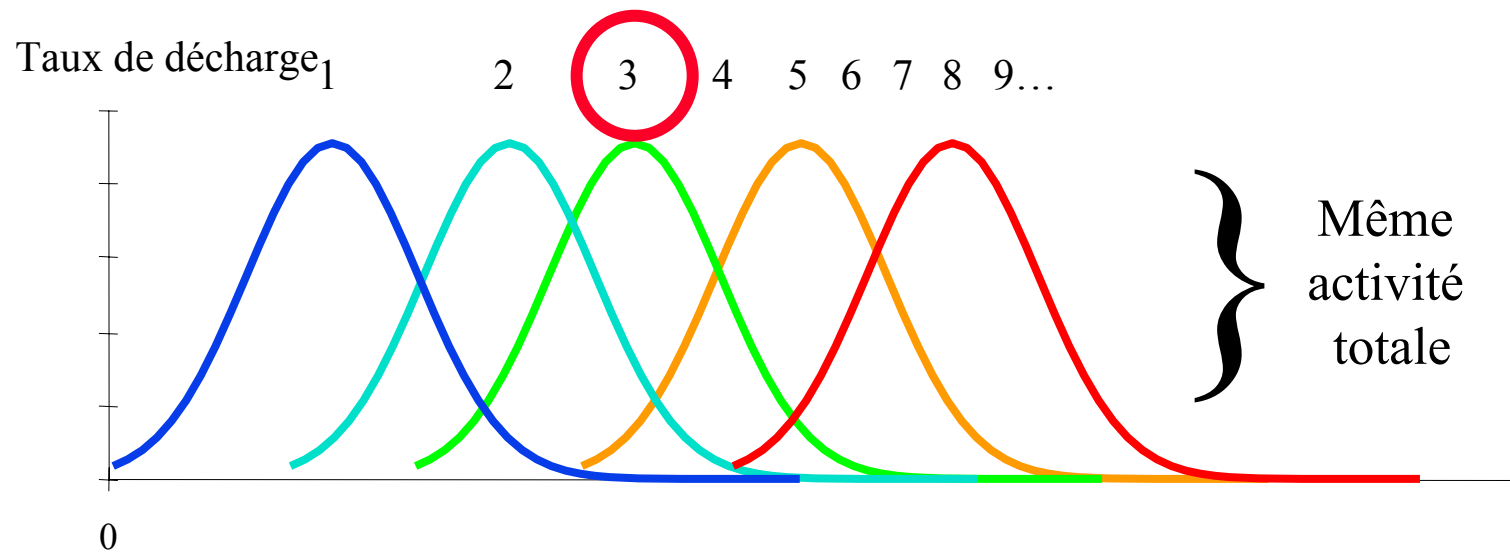


Observed Neurons (Nieder et al, 2002)

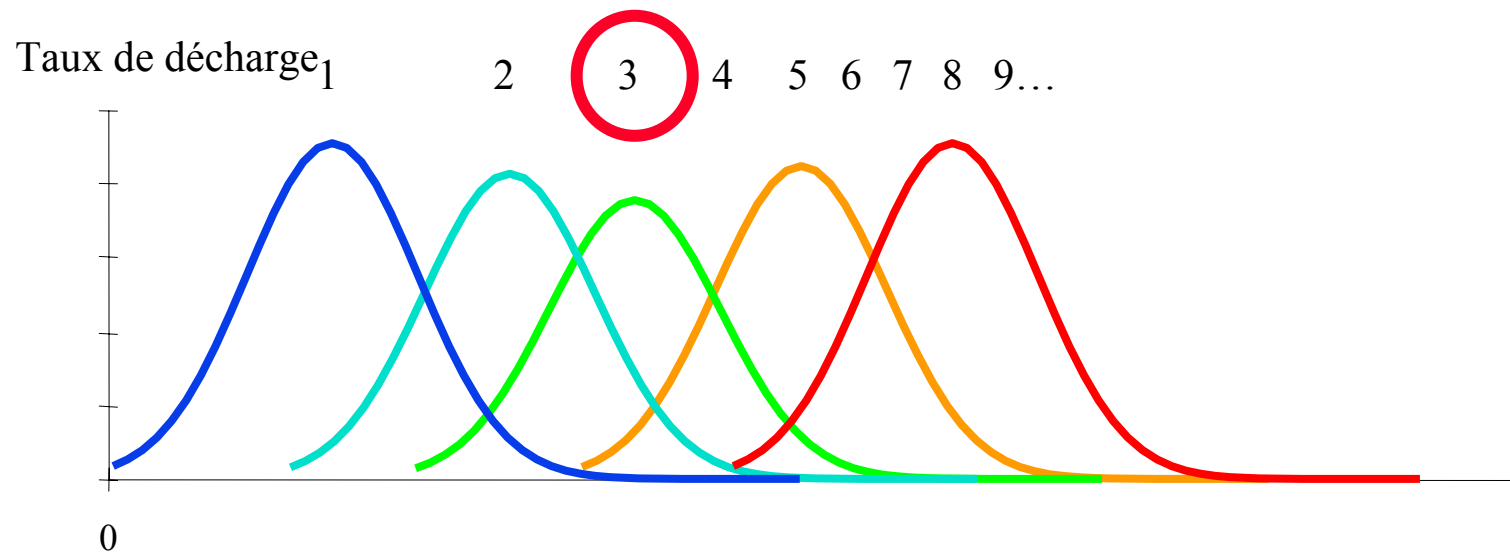


Comment mesurer les courbes de réponse numérique par IRM?

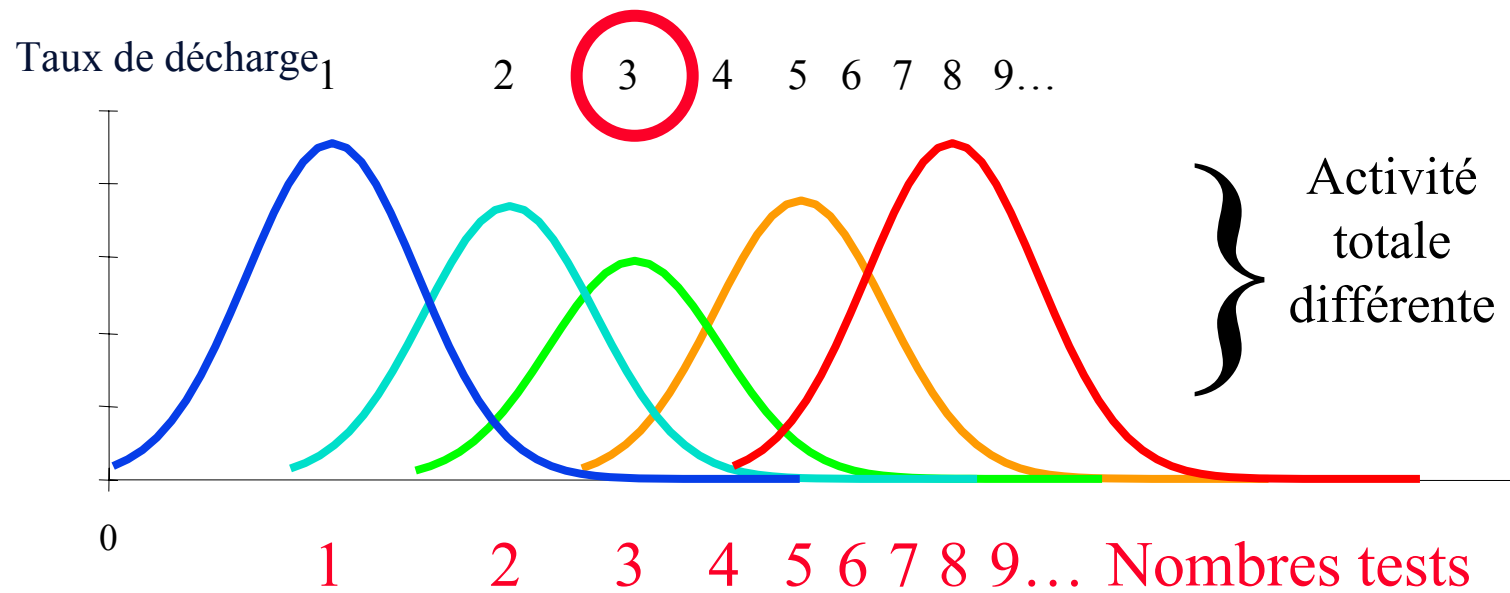
Adaptation de l'activité neurale



Comment mesurer les courbes de réponse numérique par IRM?

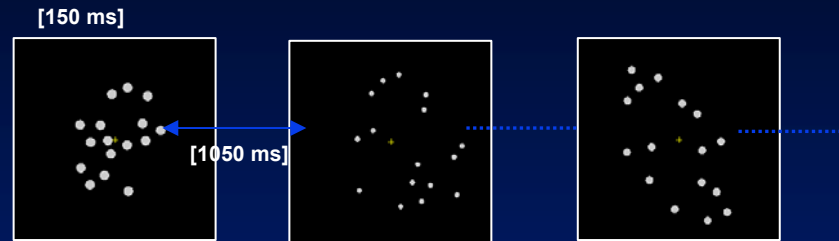


Comment mesurer les courbes de réponse numérique par IRM?

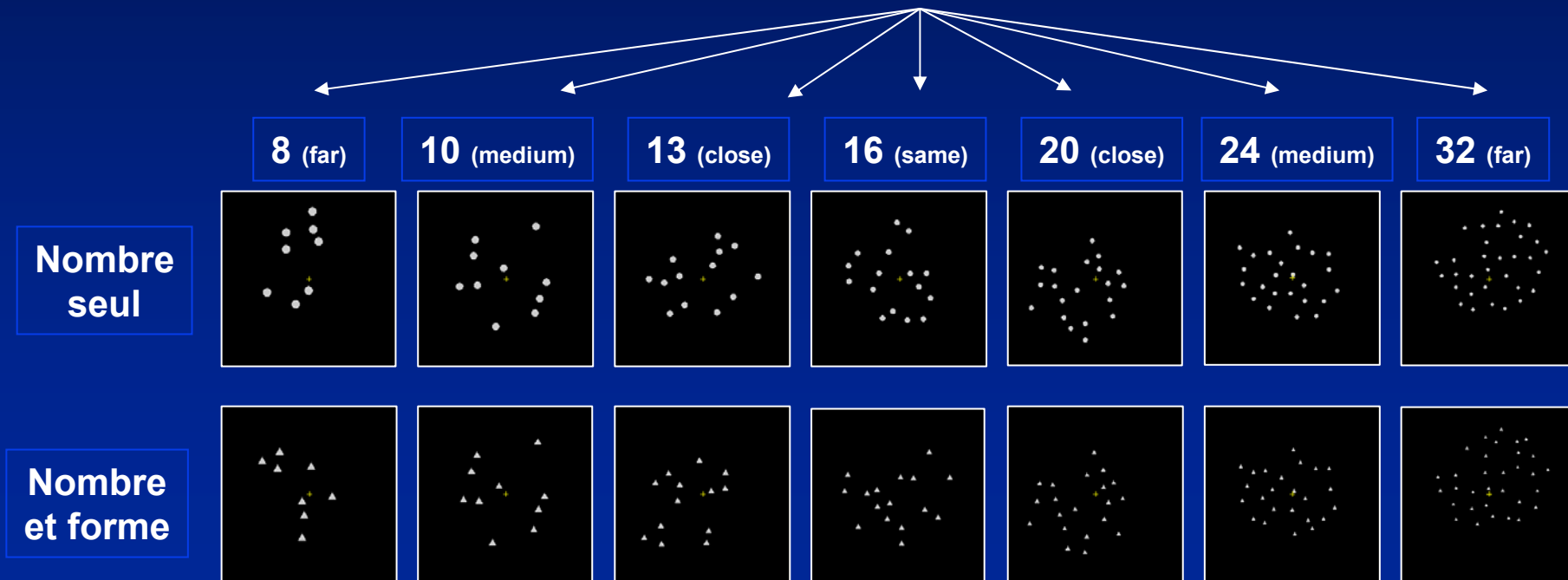


Adaptation numérique et codage cérébral des nombres

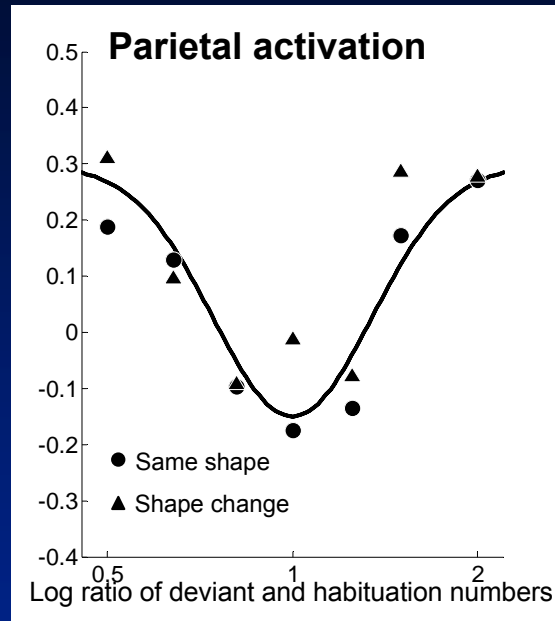
Adaptation à un nombre fixe (16 points)



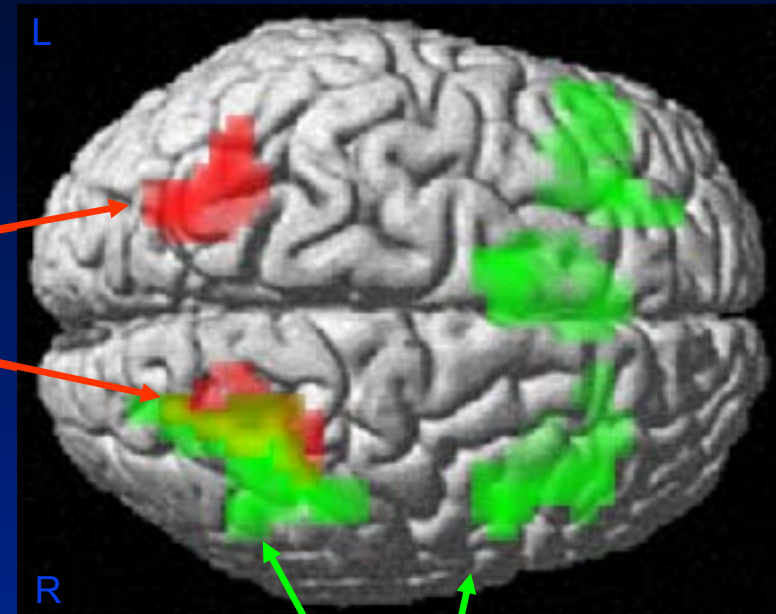
Stimuli de test



Adaptation numérique dans le segment horizontal du sillon intrapariétal (hIPS)



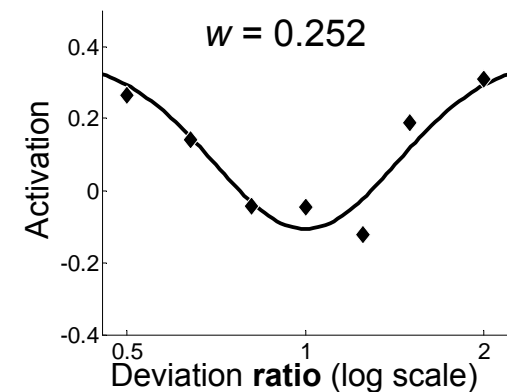
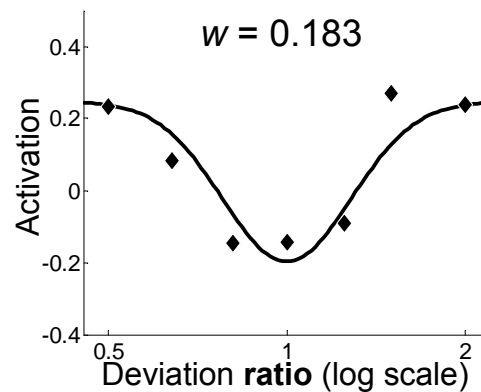
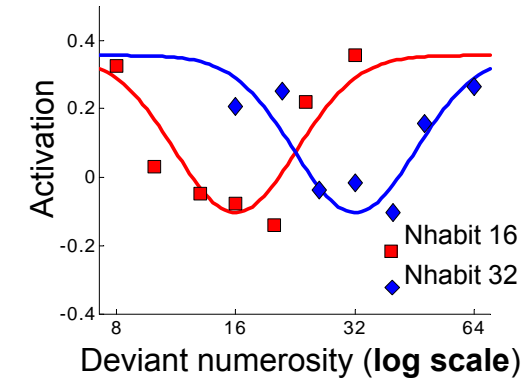
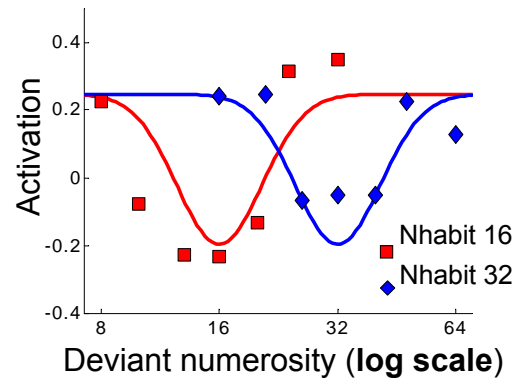
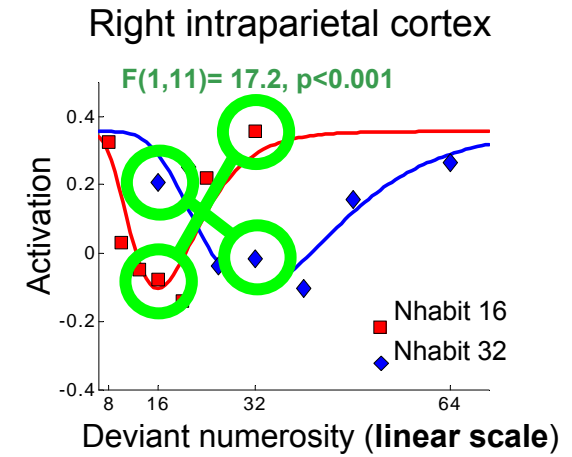
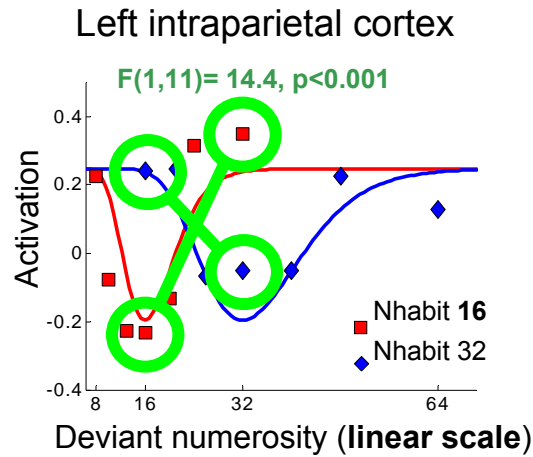
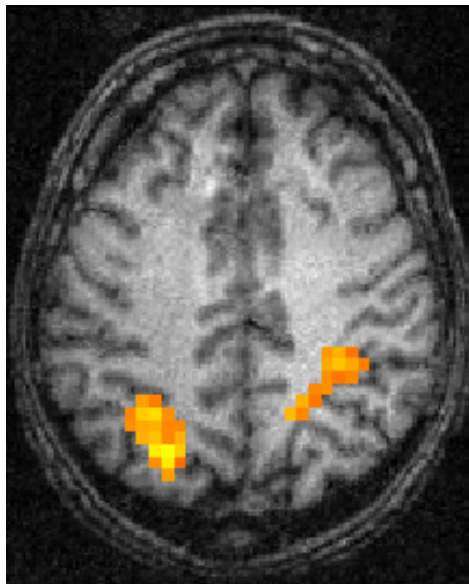
Régions qui répondent à un changement de nombre



Régions qui répondent à un changement de forme

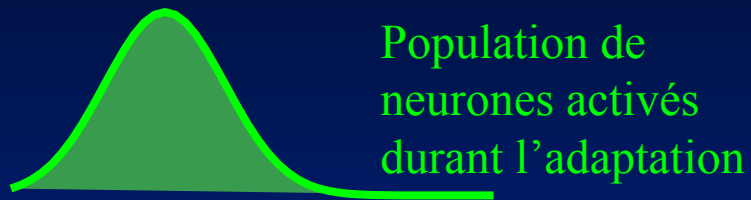
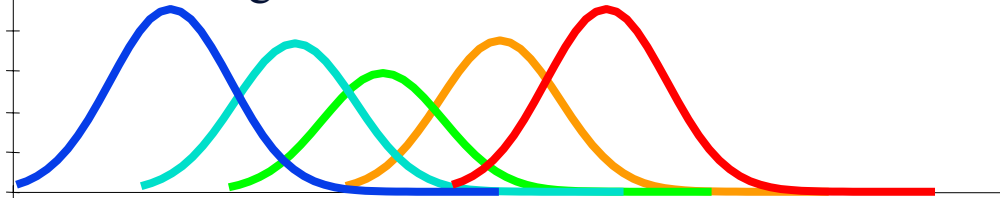
L'adaptation permet de caractériser, indirectement, les courbes d'accords des populations de neurones concernés

Loi de Weber dans le sillon intrapariétal

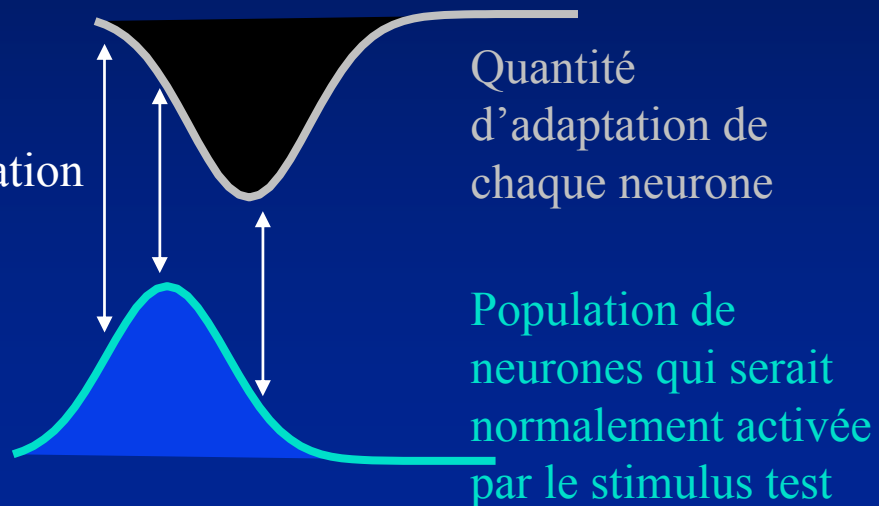


Adaptation de l'activité neurale

Taux de décharge



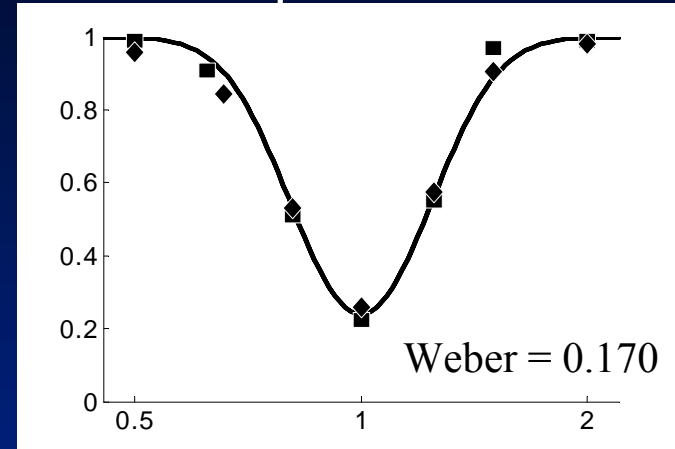
Multiplication point par point



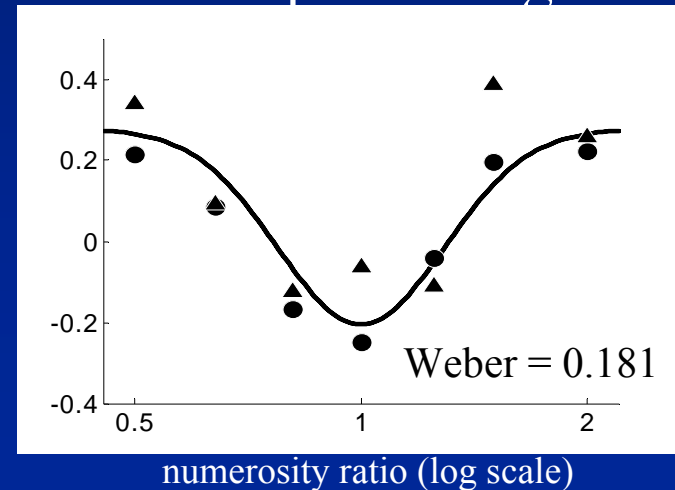
Signal IRM = somme de toutes ces contributions
 = convolution de deux Gaussiennes
 = Gaussienne plus large (1.41 fois)

Modélisation de l'effet d'adaptation

comportement



Activation pariétale gauche



Quelques questions méthodologiques

- L'adaptation est-elle une méthode utilisable à tous les niveaux de représentation?
 - Il semble que l'immense majorité des régions corticales montrent un effet d'adaptation
- L'adaptation reflète-t-elle toujours fidèlement les courbes d'accord des neurones?
 - Il arrive que non!

Au niveau d'un neurone, l'adaptation peut être plus sélective que la réponse initiale.

- Enregistrement de neurones du cortex inféro-temporal chez le singe éveillé
- Tâche de fixation passive
- Une fois un neurone identifié, on choisit trois images

Deux qui l'activent fortement (A  et B ), une qui l'active très peu (C )

- On présente ensuite ces images dans de brèves séquences:



CA = l'image A est nouvelle



AA = l'image A est répétée

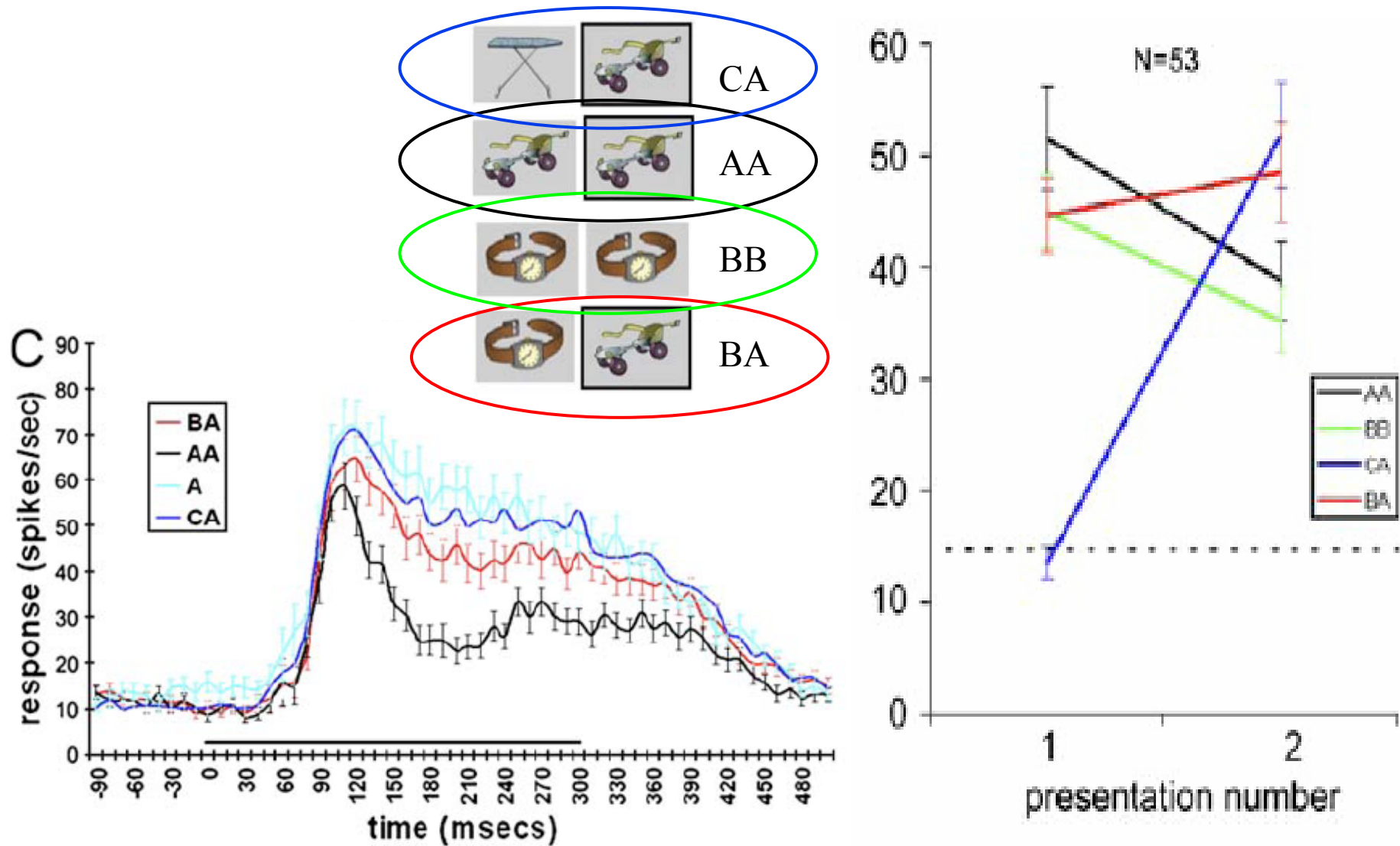


BB = l'image B est répétée



Condition critique!
BA = l'image A n'est pas répétée, mais le neurone a déjà été activé pratiquement au même niveau par l'image B

L'adaptation est bien moindre dans la condition BA

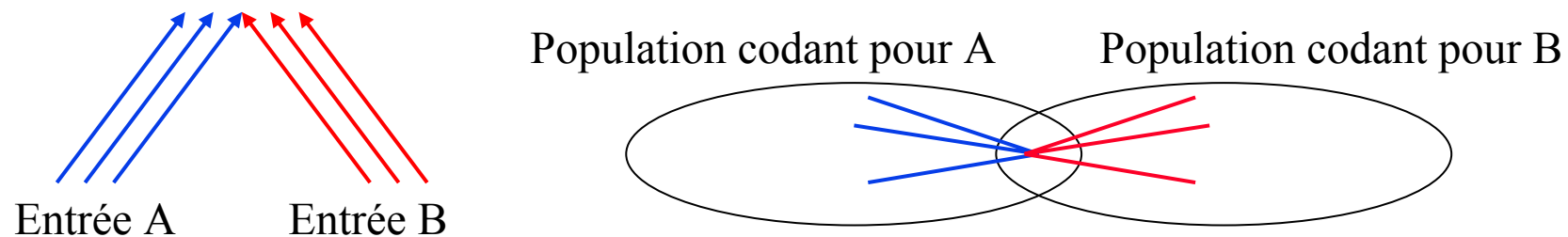


Sawamura, H., Orban, G. A., & Vogels, R. (2006). Selectivity of neuronal adaptation does not match response selectivity: a single-cell study of the fMRI adaptation paradigm. *Neuron*, 49(2), 307-318.

Que montre l'expérience de Sawamura et coll.? Et que ne montre-t-elle pas?

On peut conclure de cette expérience que

- L'adaptation neuronale ne dépend pas uniquement du taux de décharge du neurone lui-même
- L'adaptation est plutôt un phénomène synaptique, qui reflète les **entrées** du neurone, soit en provenance du niveau précédent, soit de la **population**, de neurones à laquelle il participe

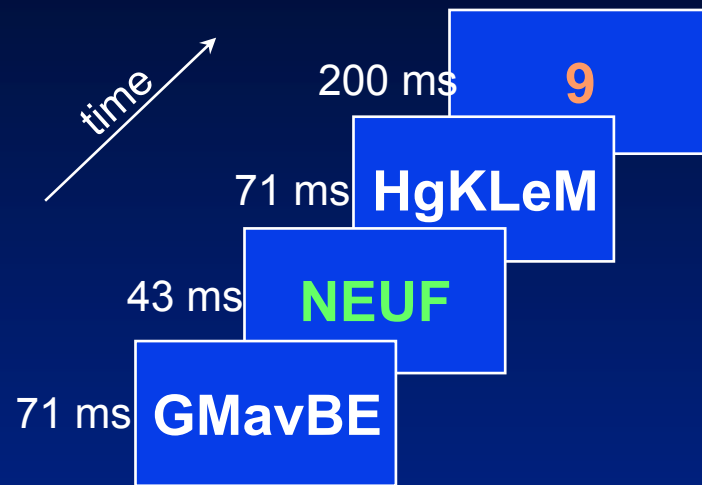


- Dans ce dernier cas, l'expérience pourrait ne pas refléter le cas générique. En réalité dans le cortex inféro-temporal, une majorité des neurones qui déchargent fortement répondent de façon différente à A et B, et il y a donc bien congruence entre la sélectivité *de la population* et l'adaptation)
- L'adaptation en IRMf (donc moyennée sur toute une population de neurones) nous donne encore de précieuses informations, au niveau de la population, sur le code neural des représentations mentales

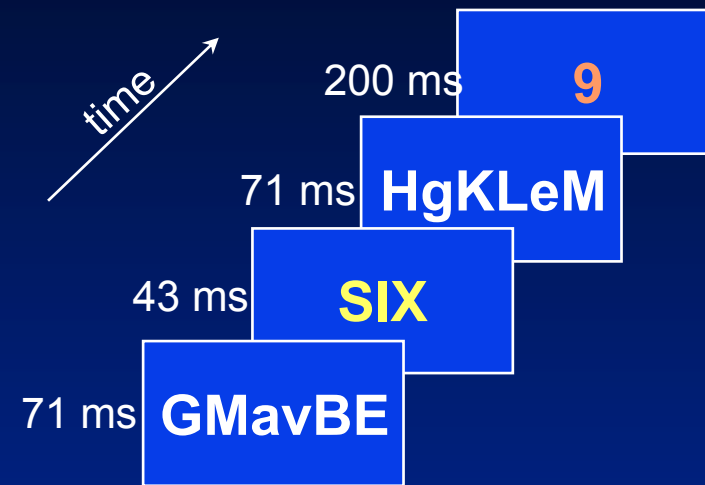
Quelques problèmes méthodologiques

- Les effets d'adaptation reflètent-ils uniquement le code neural *local* propre à une région?
- Possibilité d'une contamination par des effets plus globaux, attentionnels ou stratégiques
- Par exemple, les participants pourraient faire de moins en moins attention dans les blocs où les images sont répétées.
- C'est pourquoi nous avons également utilisé l'**amorçage inconscient** pour étudier les effets de répétition

Le traitement inconscient des nombres



Même quantité

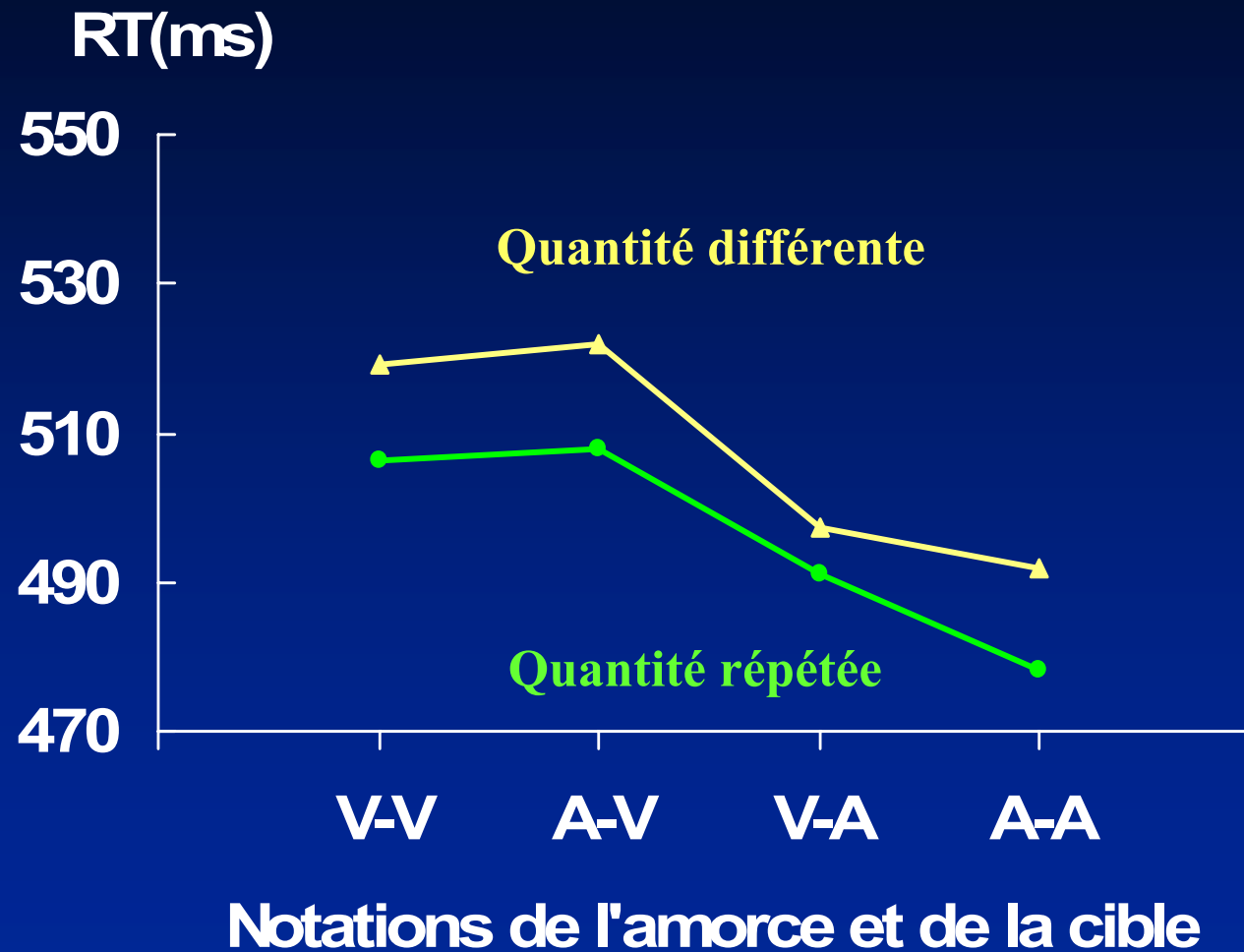


Deux quantités différentes

réponse de comparaison ralentie

Naccache, L., & Dehaene, S. (2001). The Priming Method: Imaging Unconscious Repetition Priming Reveals an Abstract Representation of Number in the Parietal Lobes. *Cereb Cortex*, 11(10), 966-974.

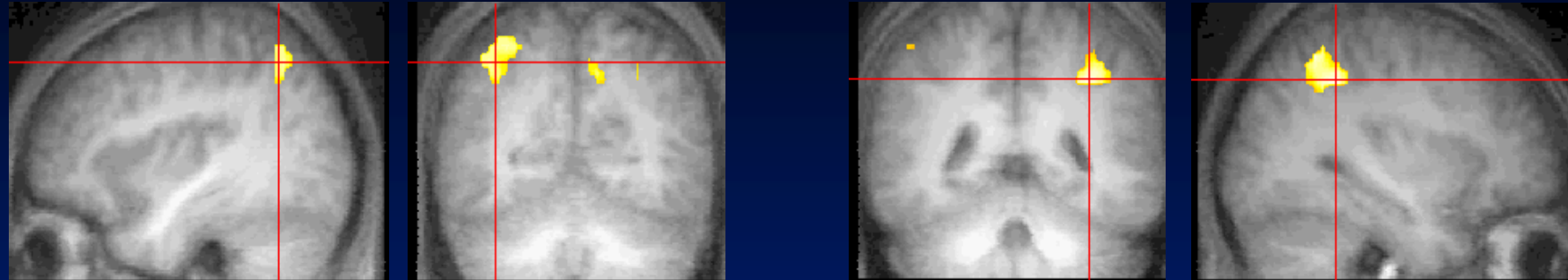
Effet d'amorçage dans les temps de réponse



Naccache, L., & Dehaene, S. (2001). The Priming Method: Imaging Unconscious Repetition Priming Reveals an Abstract Representation of Number in the Parietal Lobes. *Cereb Cortex*, 11(10), 966-974.

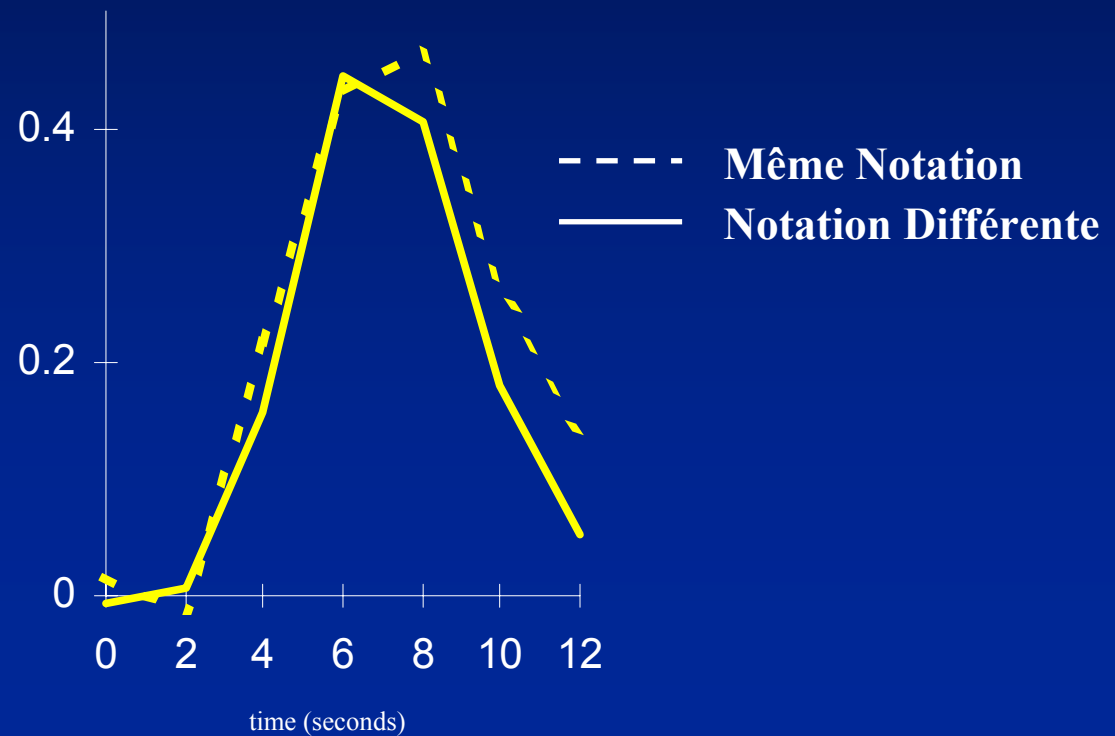
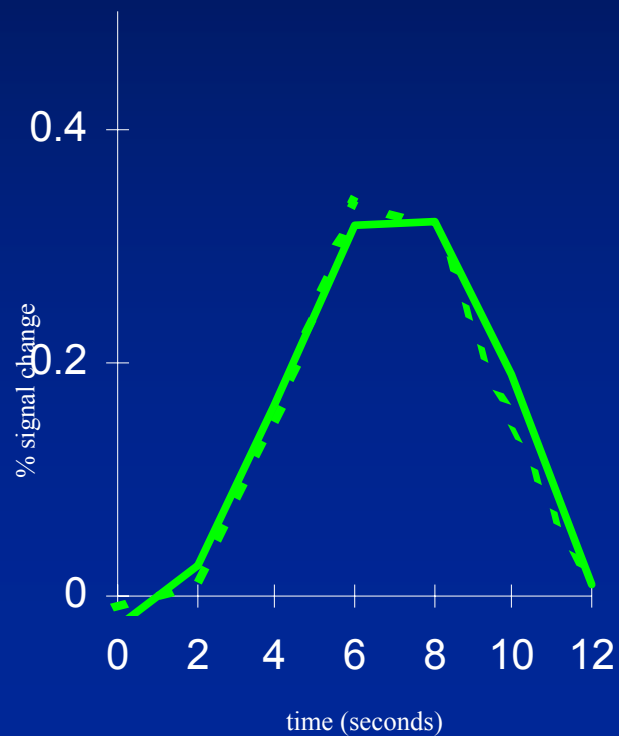
Traitement inconscient de la quantité

La région intrapariétale montre un effet d'amorçage inconscient



Même quantité

Deux quantités différentes



Elégance et intérêt de la méthode d'amorçage

- L'utilisation de l'amorçage inconscient évite les changements d'attention ou de stratégie.
- On compare en fait des essais qui, du point de vue du sujet, paraissent identiques
- Ces essais comprennent, en moyenne, exactement les mêmes stimuli visuels (mêmes amorces, mêmes cibles), mais appariés différemment
- Excellent contrôle sur les propriétés physiques des stimuli, tout en donnant accès au codage neuronal de propriétés très abstraites (le sens d'un symbole).
- Un inconvénient majeur: l'effet d'adaptation est faible et donc difficile à détecter.
- Néanmoins, la méthode a déjà permis de discerner, au sein des régions occipito-temporales, toute une série d'étapes visuelles, orthographiques, et sémantiques des mots.

Naccache, L., & Dehaene, S. (2001). The Priming Method: Imaging Unconscious Repetition Priming Reveals an Abstract Representation of Number in the Parietal Lobes. *Cereb Cortex*, 11(10), 966-974.