

# 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?**

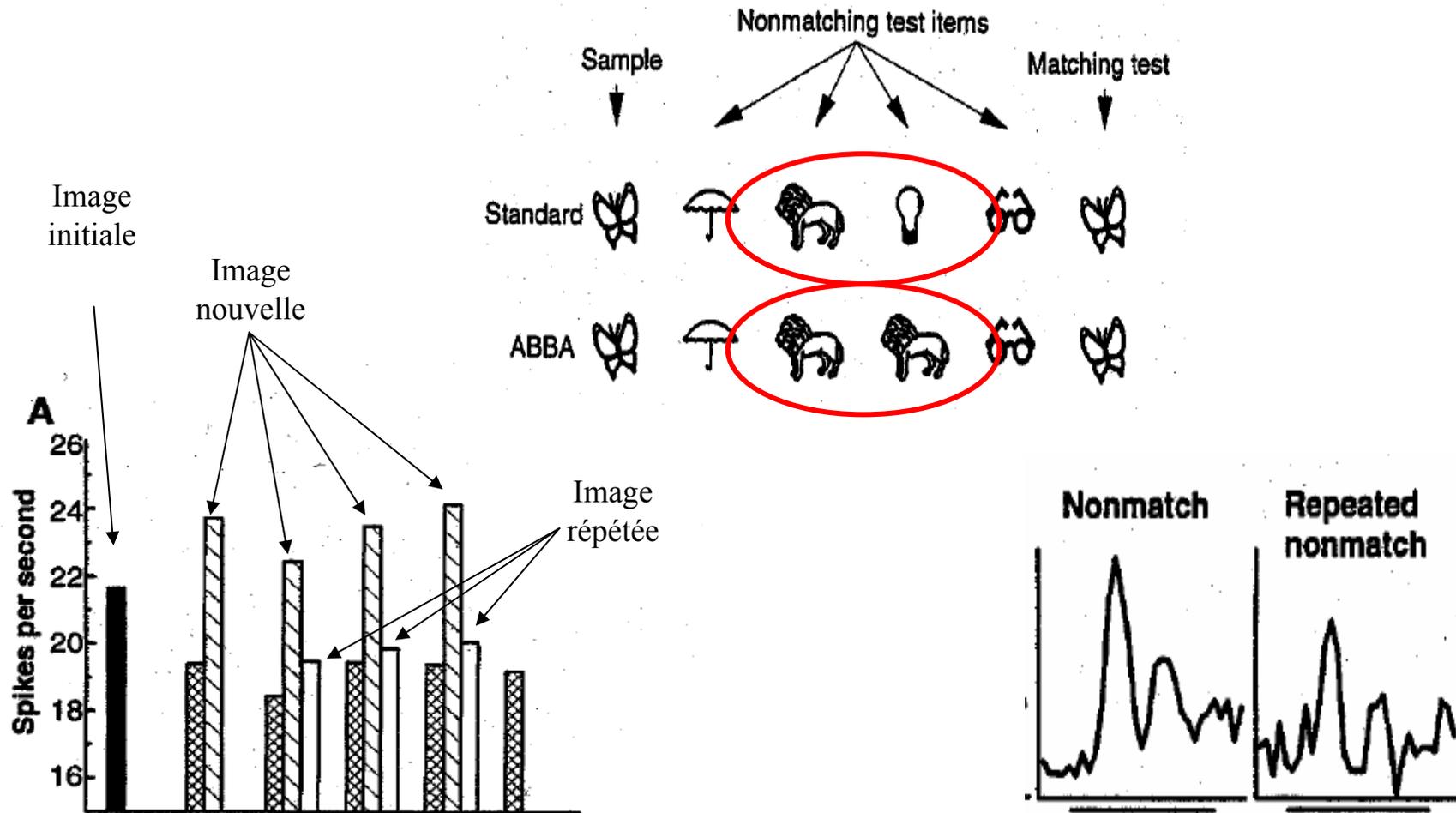
Autrement dit, qu'est-ce qui détermine que deux objets mentaux se ressemblent (à un certain niveau de codage) ou se distinguent?

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



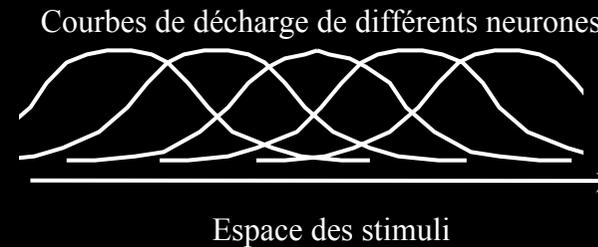
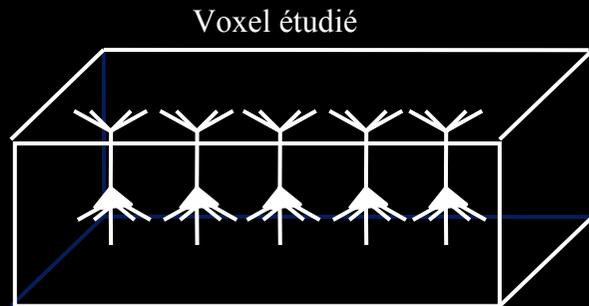
Li, L., Miller, E. K., & Desimone, R. (1993). The representation of stimulus familiarity in anterior inferior temporal cortex. *J Neurophysiol*, 69(6), 1918-1929.

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

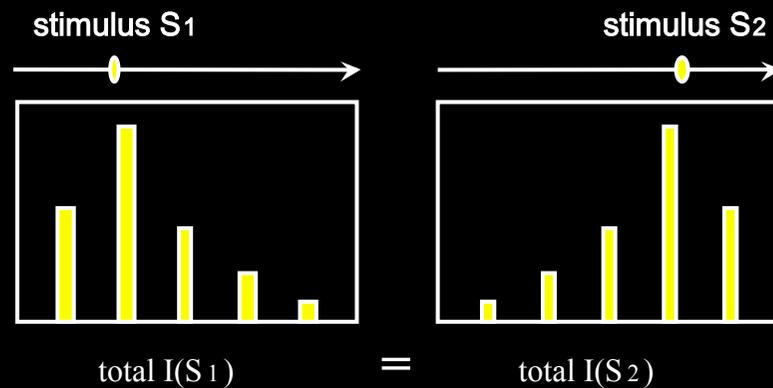
**Miller, E. K., & Desimone, R. (1994). Parallel neuronal mechanisms for short-term memory. *Science*, 263(5146), 520-522.**

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

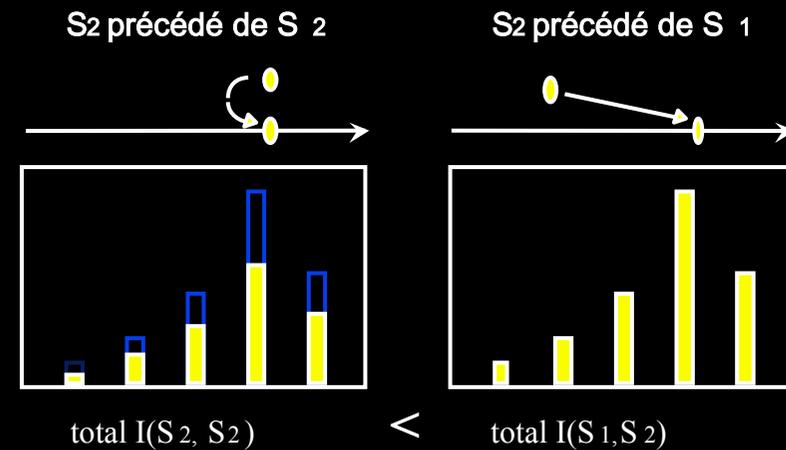
## Idée 1: "hyper-résolution"



*Méthode de soustraction classique*



*Méthode d'amorçage*

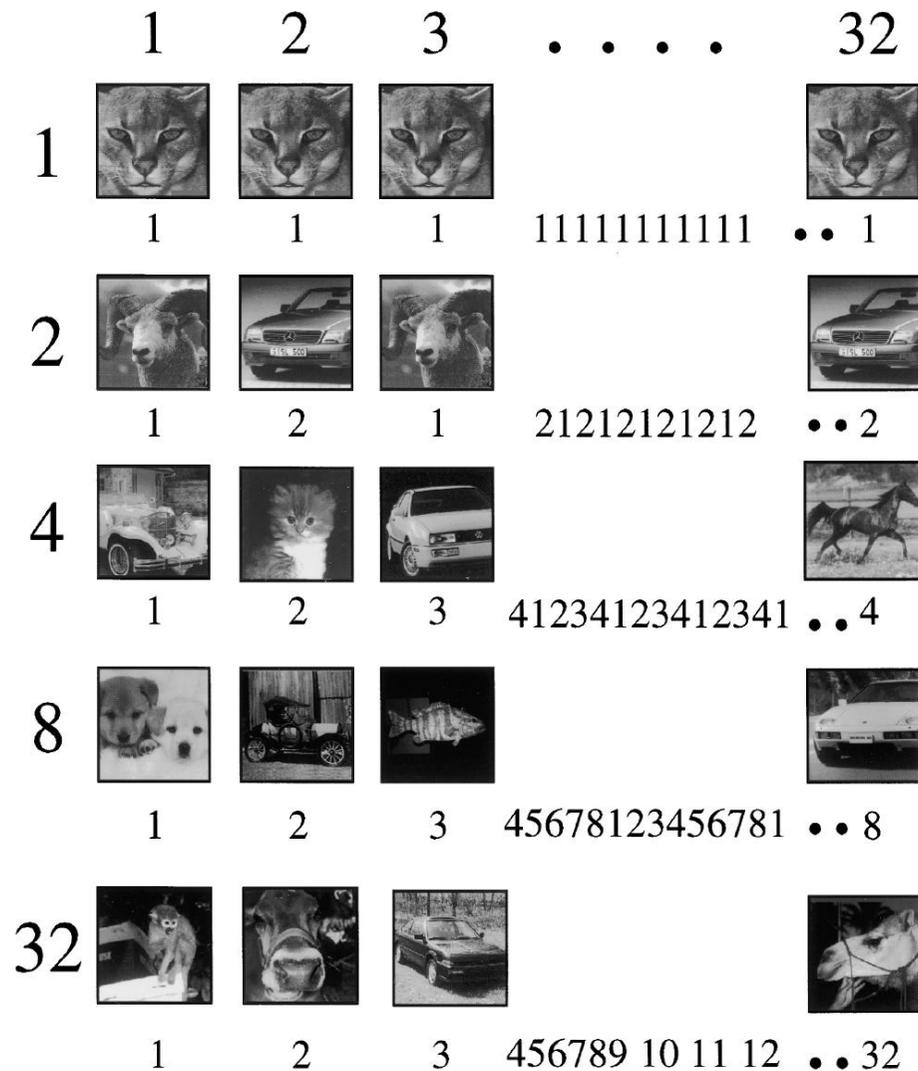


Les codes neuronaux sont différents, mais les activations mesurées sont indistingables.

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

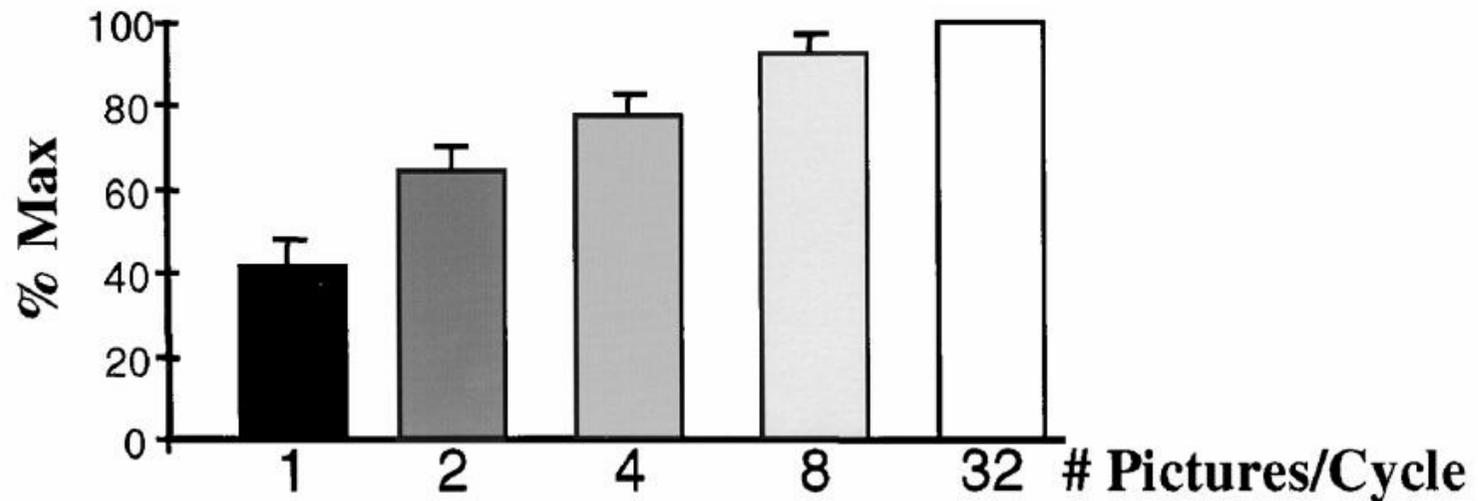
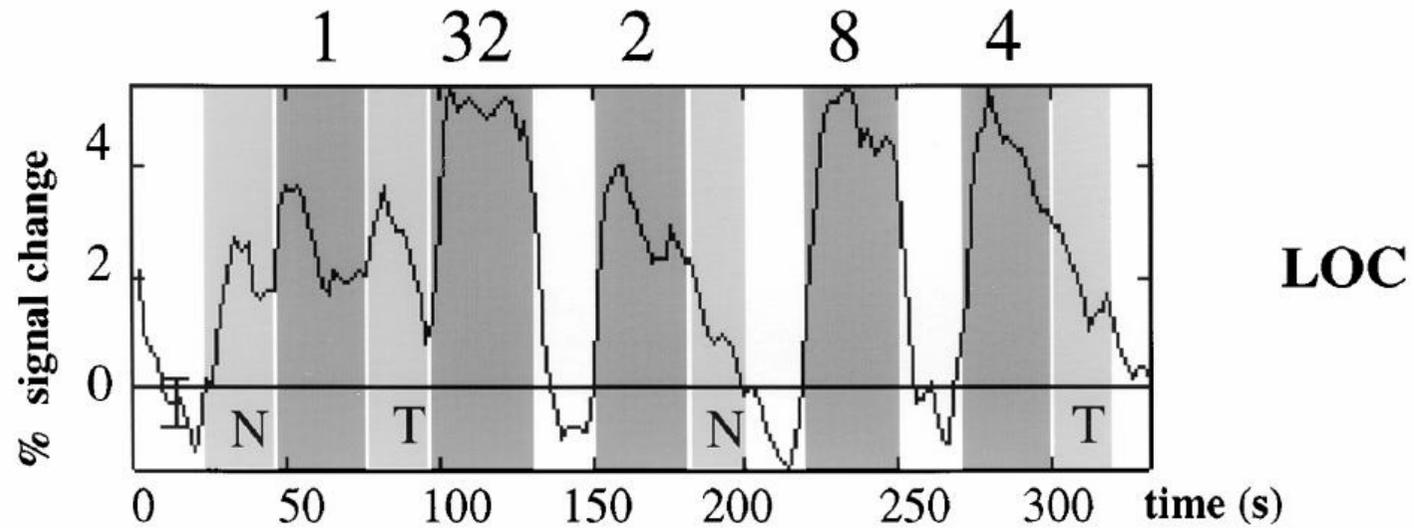
## Démonstration principes de Kalanit Grill-Spector:

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

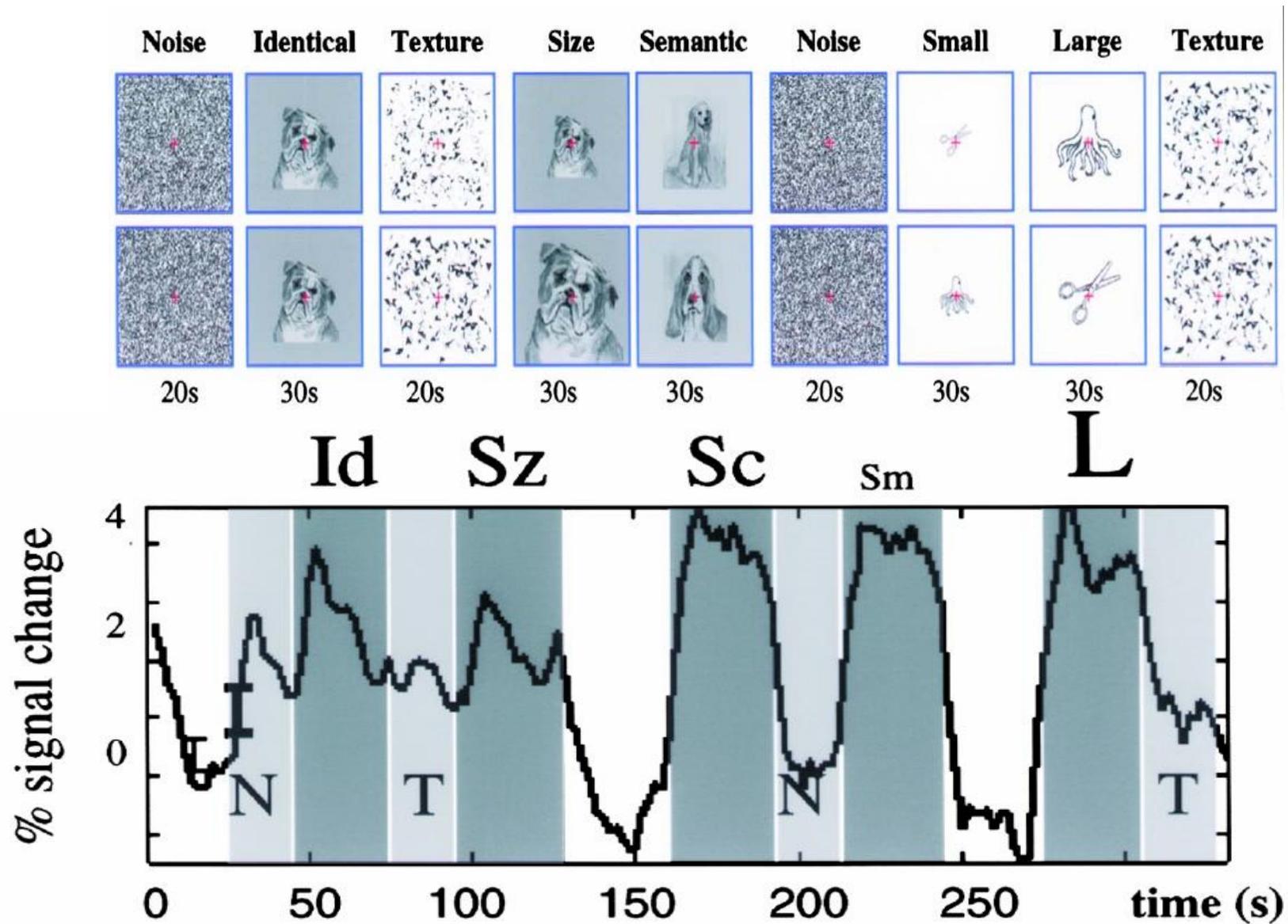
- Avec la méthode d’amorçage,

- 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?

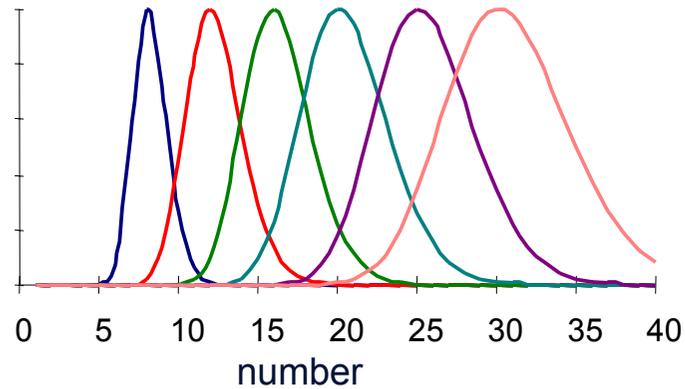
## Exemple: Invariance pour la taille de l'image dans la région LOC



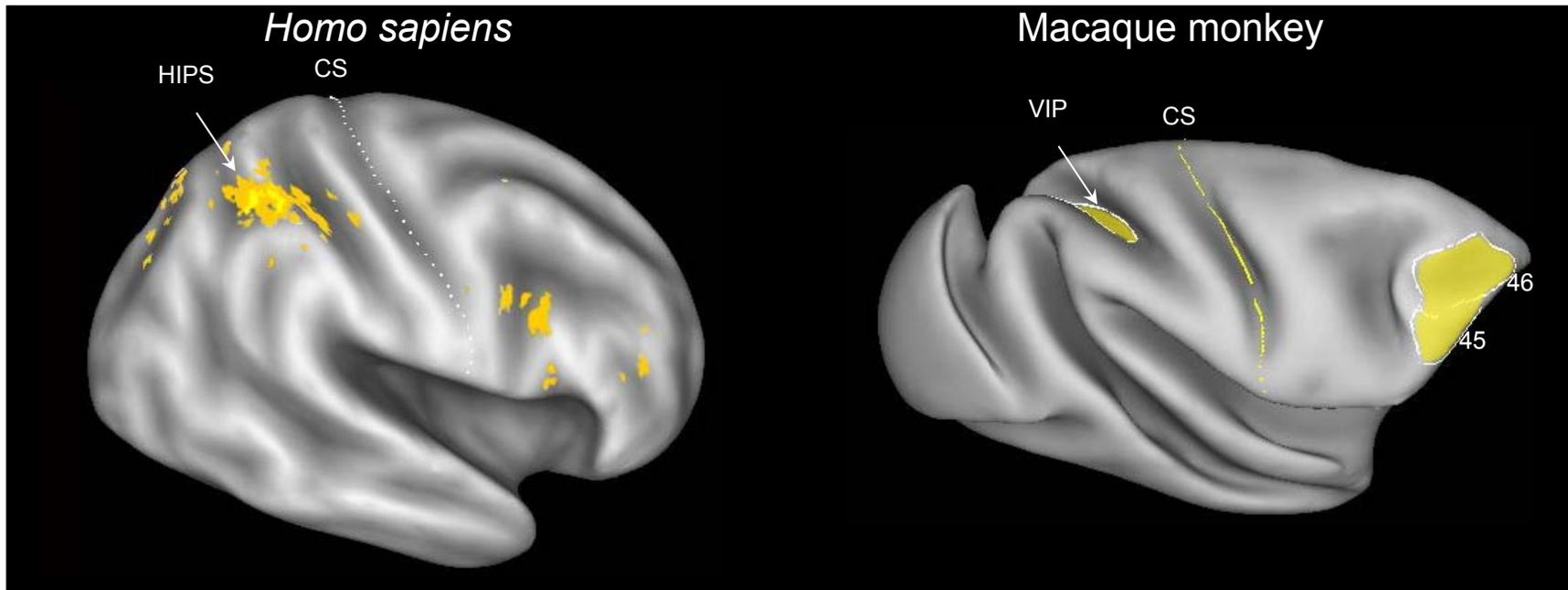
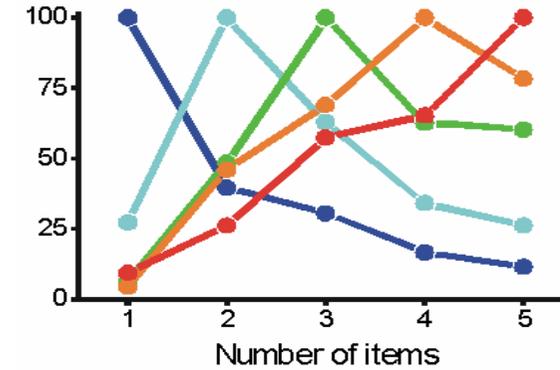
Grill-Spector et al. (1999). Differential processing of objects under various viewing conditions in the human lateral occipital complex. *Neuron*, 24(1), 187-203.

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

Predicted tuning (Dehaene & Changeux, 1993)

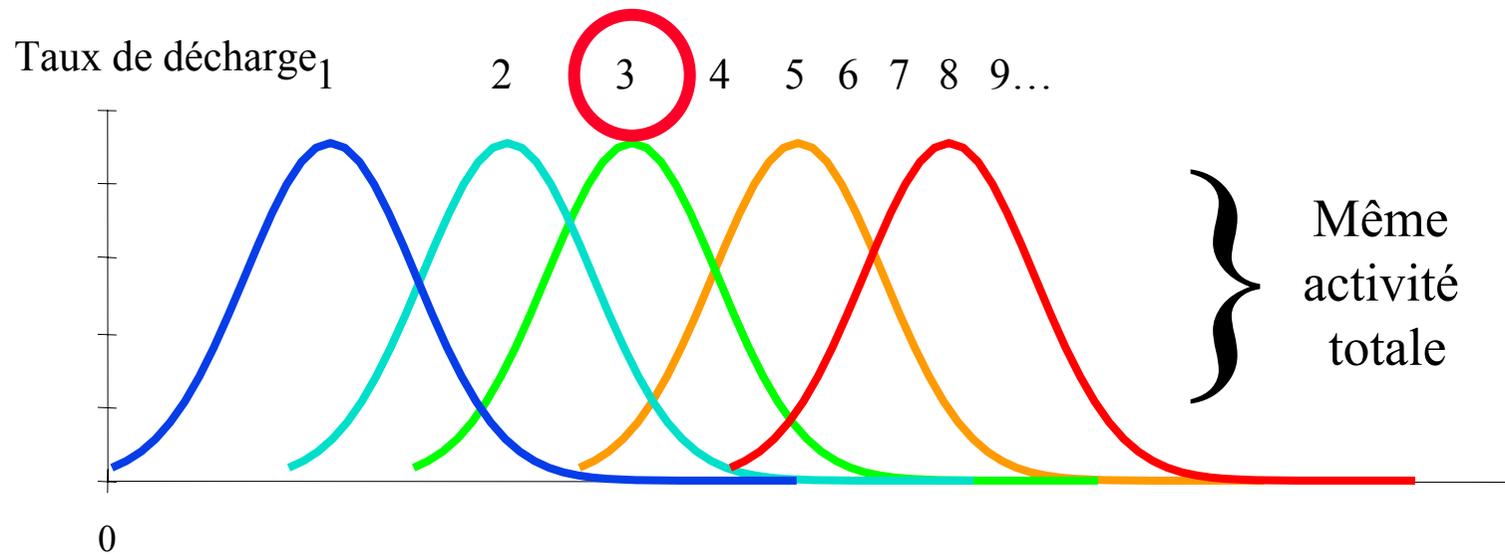


Observed Neurons (Nieder et al, 2002)

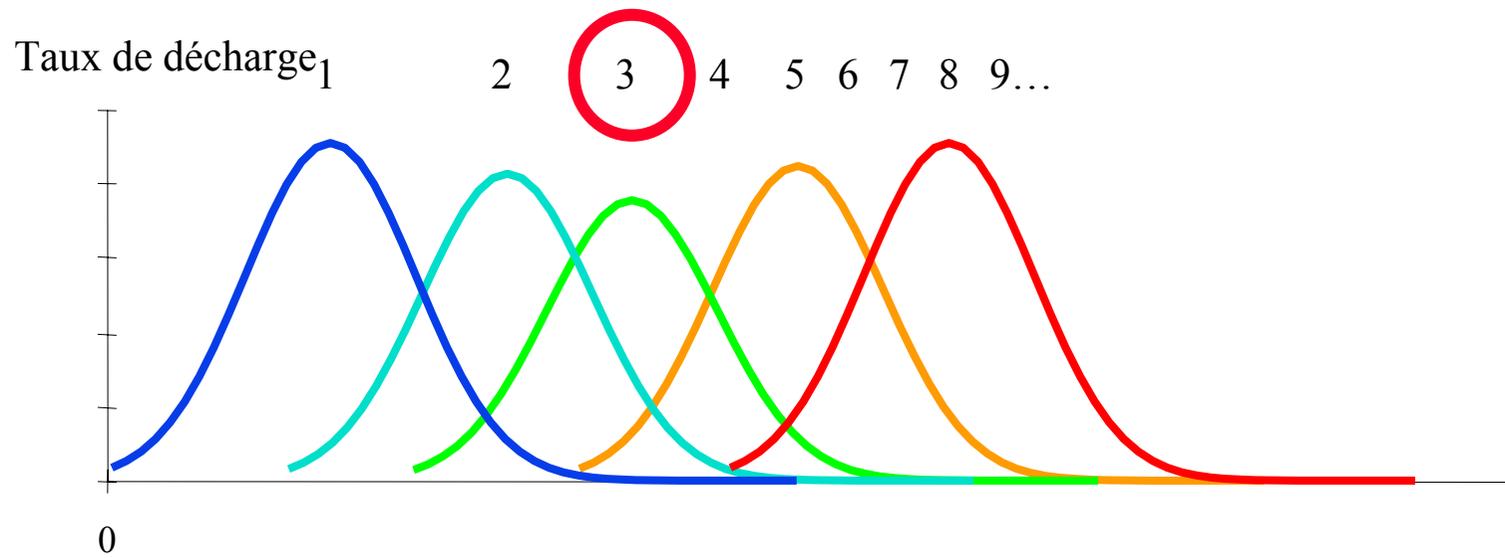


# Comment mesurer les courbes de réponse numérique par IRM?

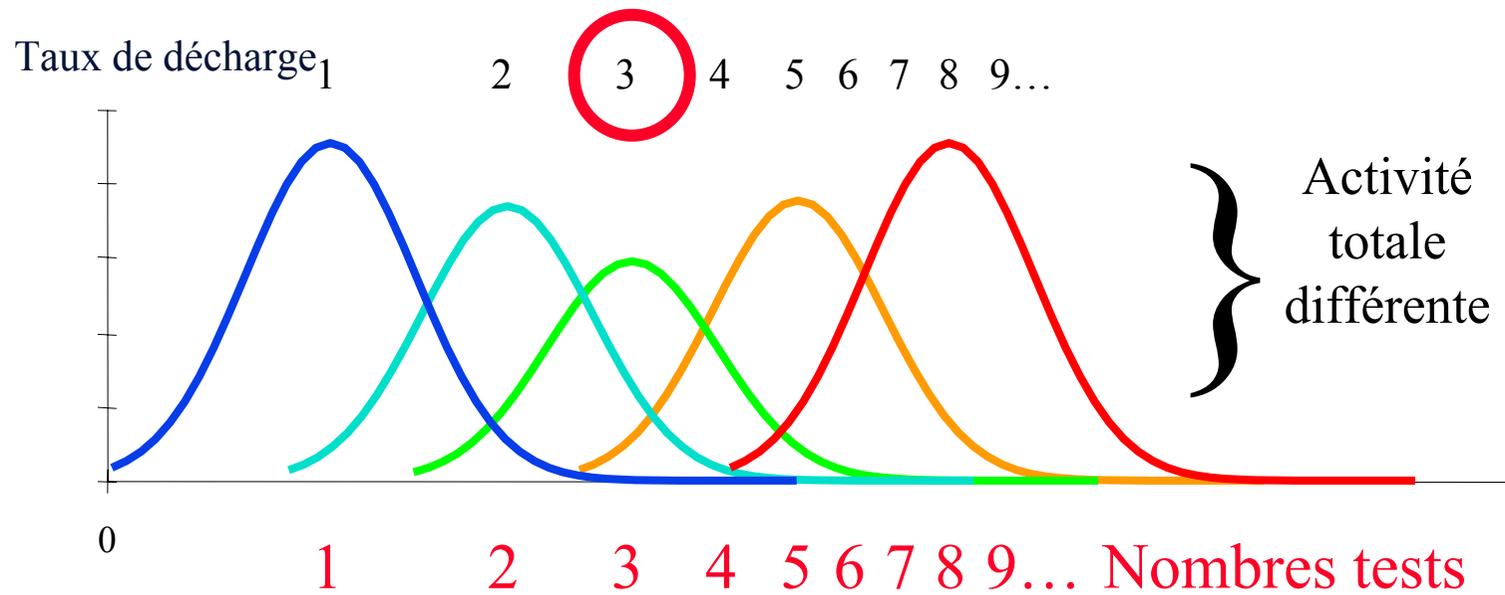
## Adaptation de l'activité neurale



## Comment mesurer les courbes de réponse numérique par IRM?

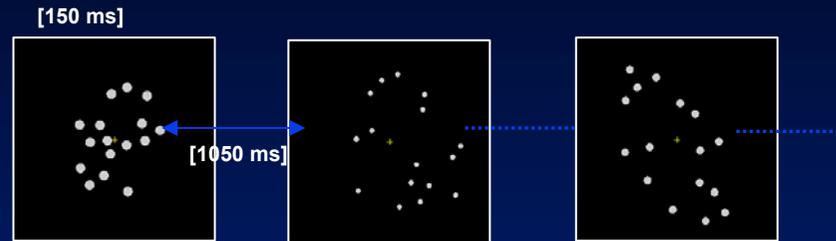


## Comment mesurer les courbes de réponse numérique par IRM?

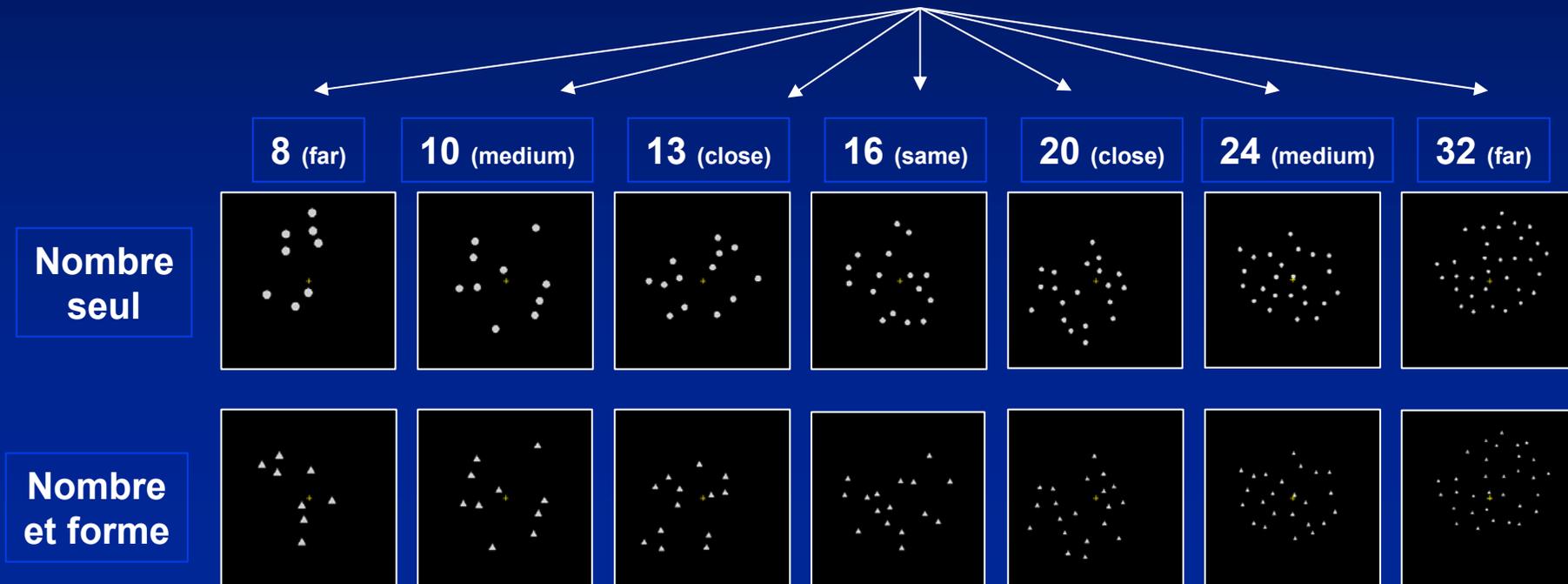


# Adaptation numérique et codage cérébral des nombres

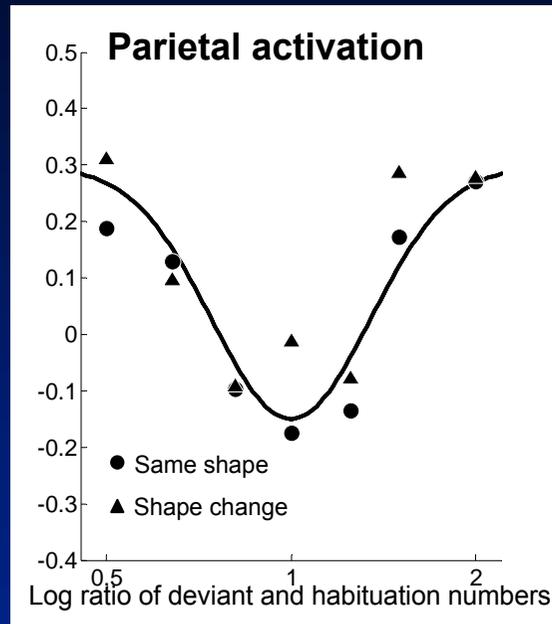
## Adaptation à un nombre fixe (16 points)



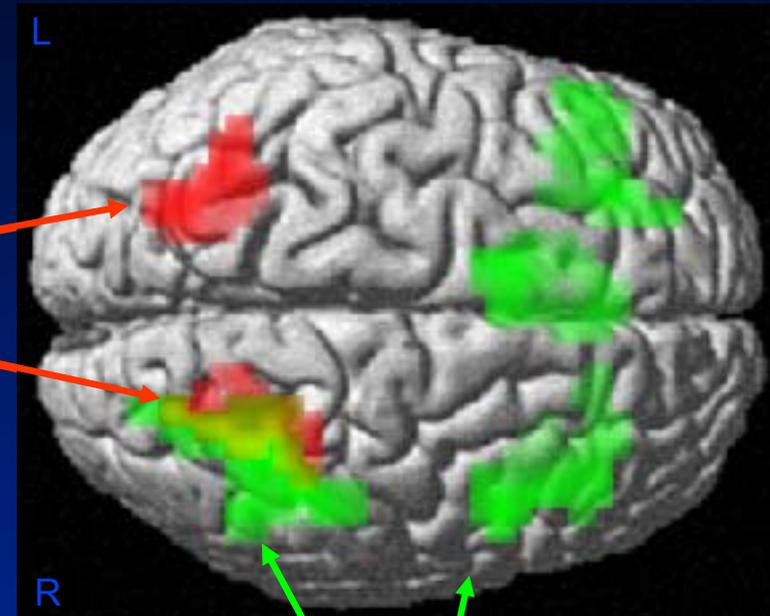
## Stimuli de test



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



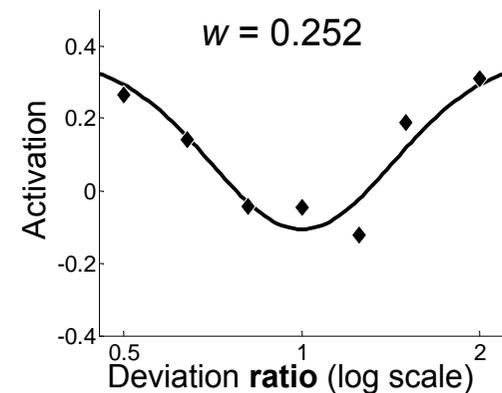
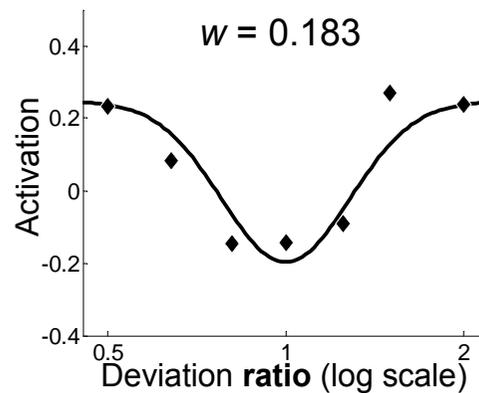
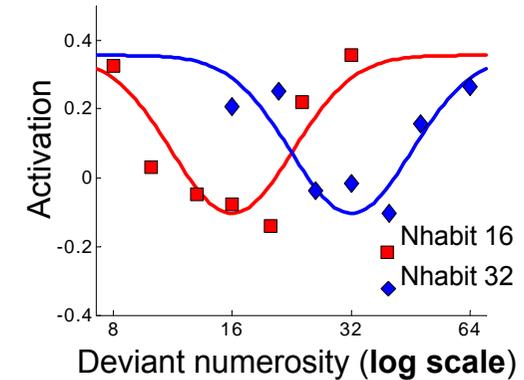
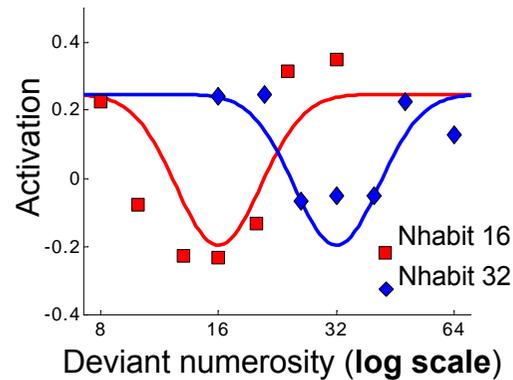
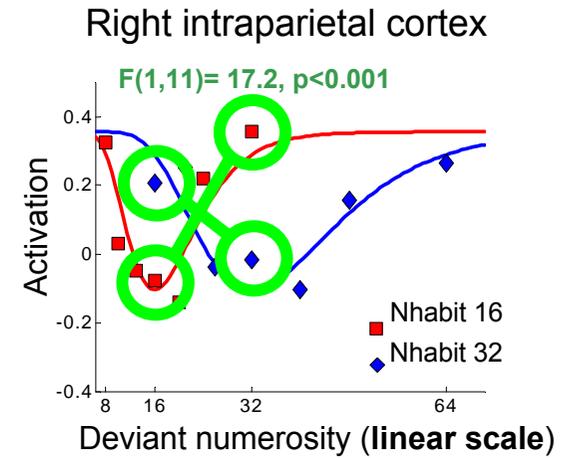
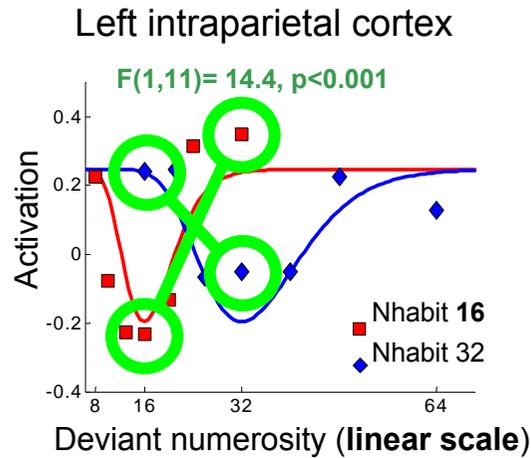
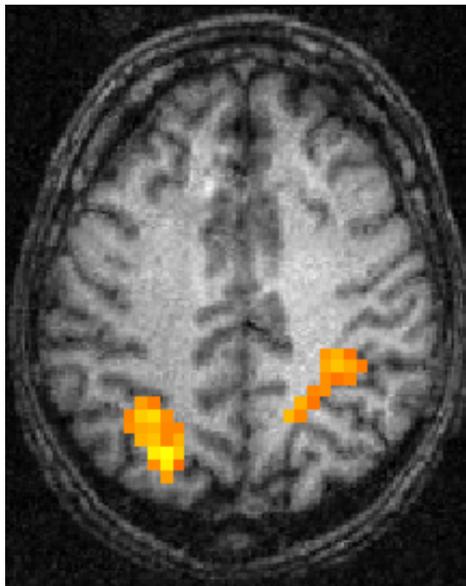
Régions qui répondent à un changement de nombre



Régions qui répondent à un changement de forme

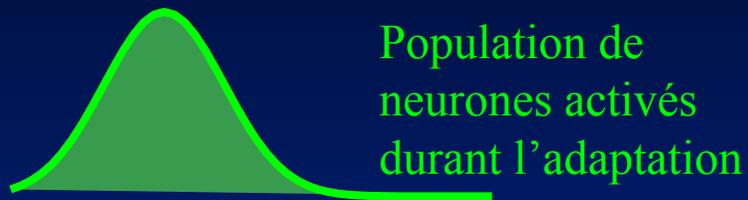
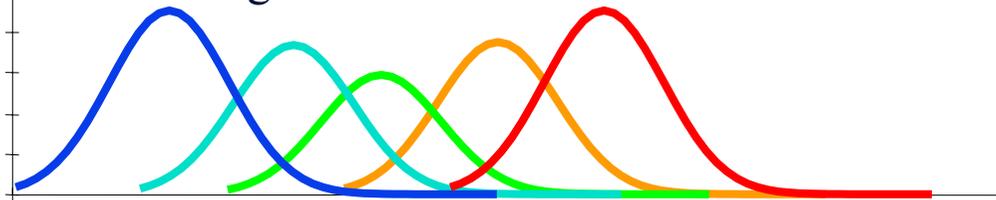
**L'adaptation permet de caractériser, indirectement, les courbes d'accords des populations de neurones concernés**

Loi de Weber dans le sillon intrapariétal

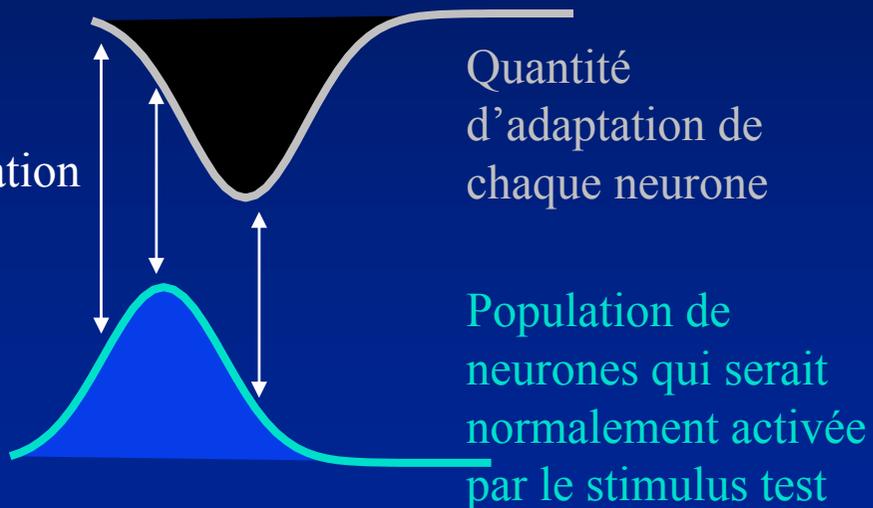


## Adaptation de l'activité neurale

Taux de décharge



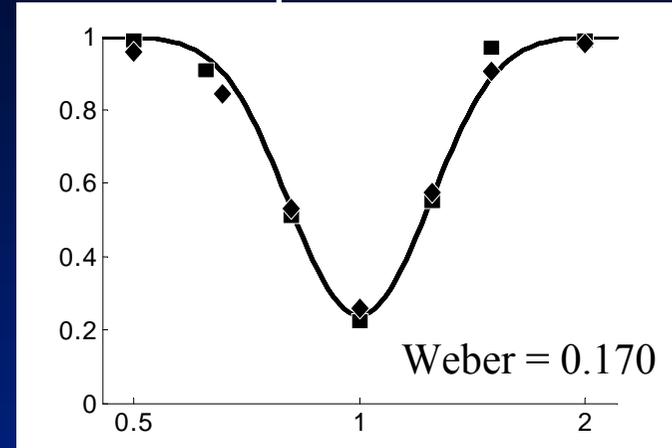
Multiplication point par point



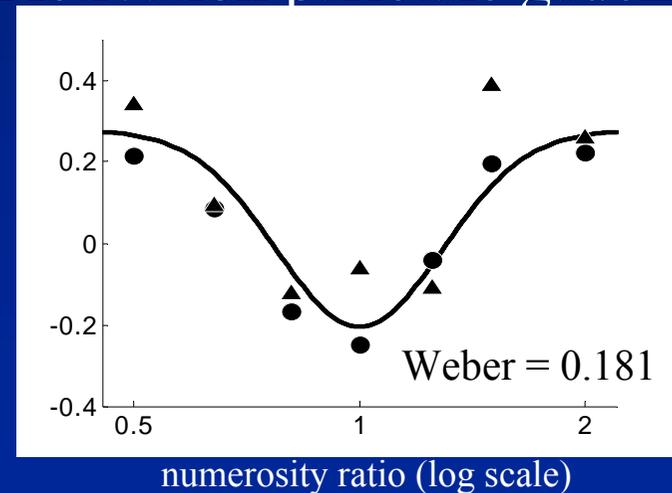
Signal IRM = somme de toutes ces contributions  
 = convolution de deux Gaussiennes  
 = Gaussienne plus large (1.41 fois)

## 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

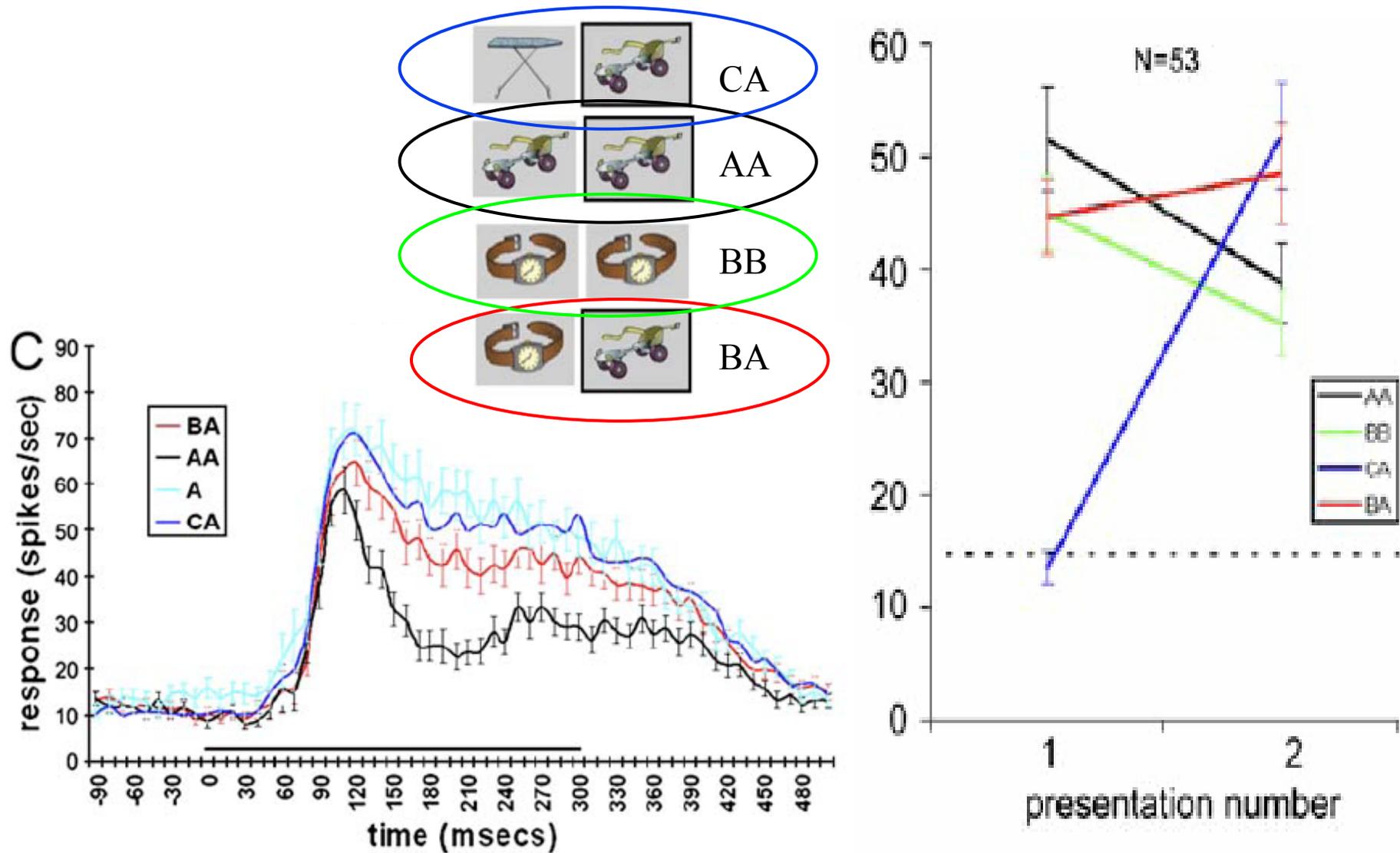


BB = l'image B est répétée



**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

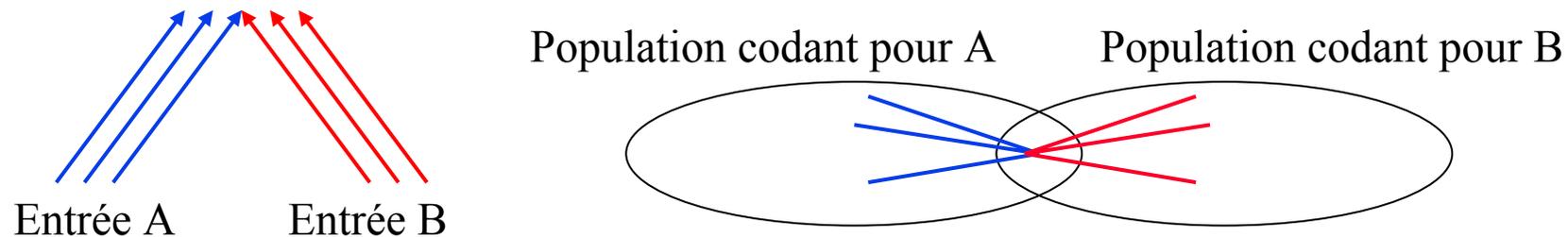


Sawamura, H., Orban, G. A., & Vogels, R. (2006). Selectivity of neuronal adaptation does not match response selectivity: a single-cell study of the fMRI adaptation paradigm. *Neuron*, 49(2), 307-318.

# 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

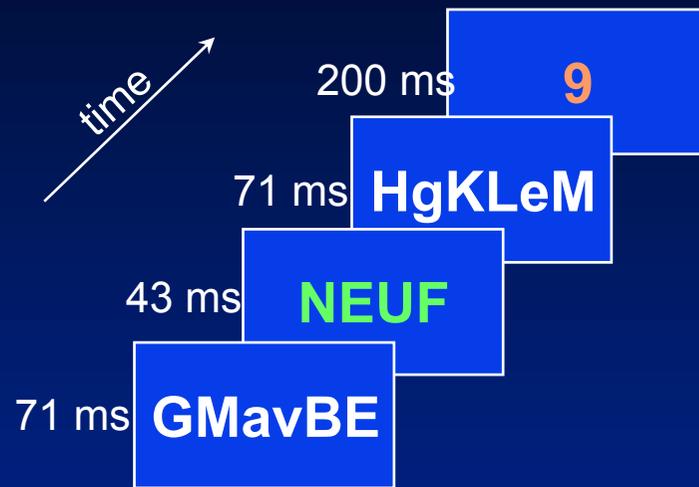


- Dans ce dernier cas, l'expérience pourrait ne pas refléter le cas générique. En réalité dans le cortex inféro-temporal, une majorité des neurones qui déchargent fortement répondent de façon différente à A et B, et il y a donc bien congruence entre la sélectivité *de la population* et l'adaptation)
- 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

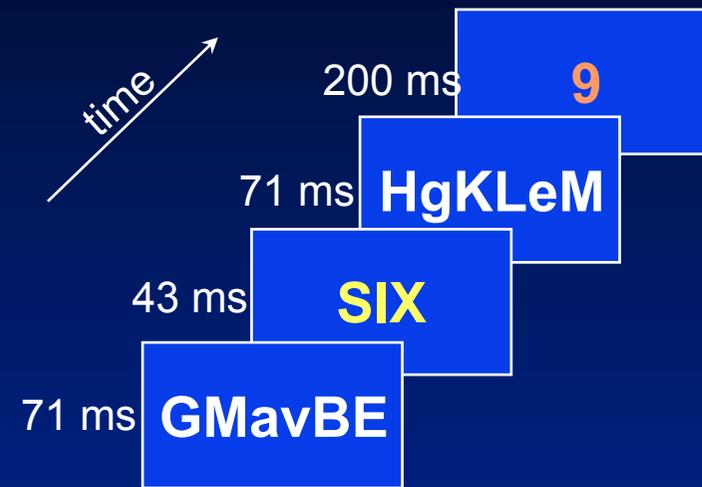
## Quelques problèmes méthodologiques

- 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**

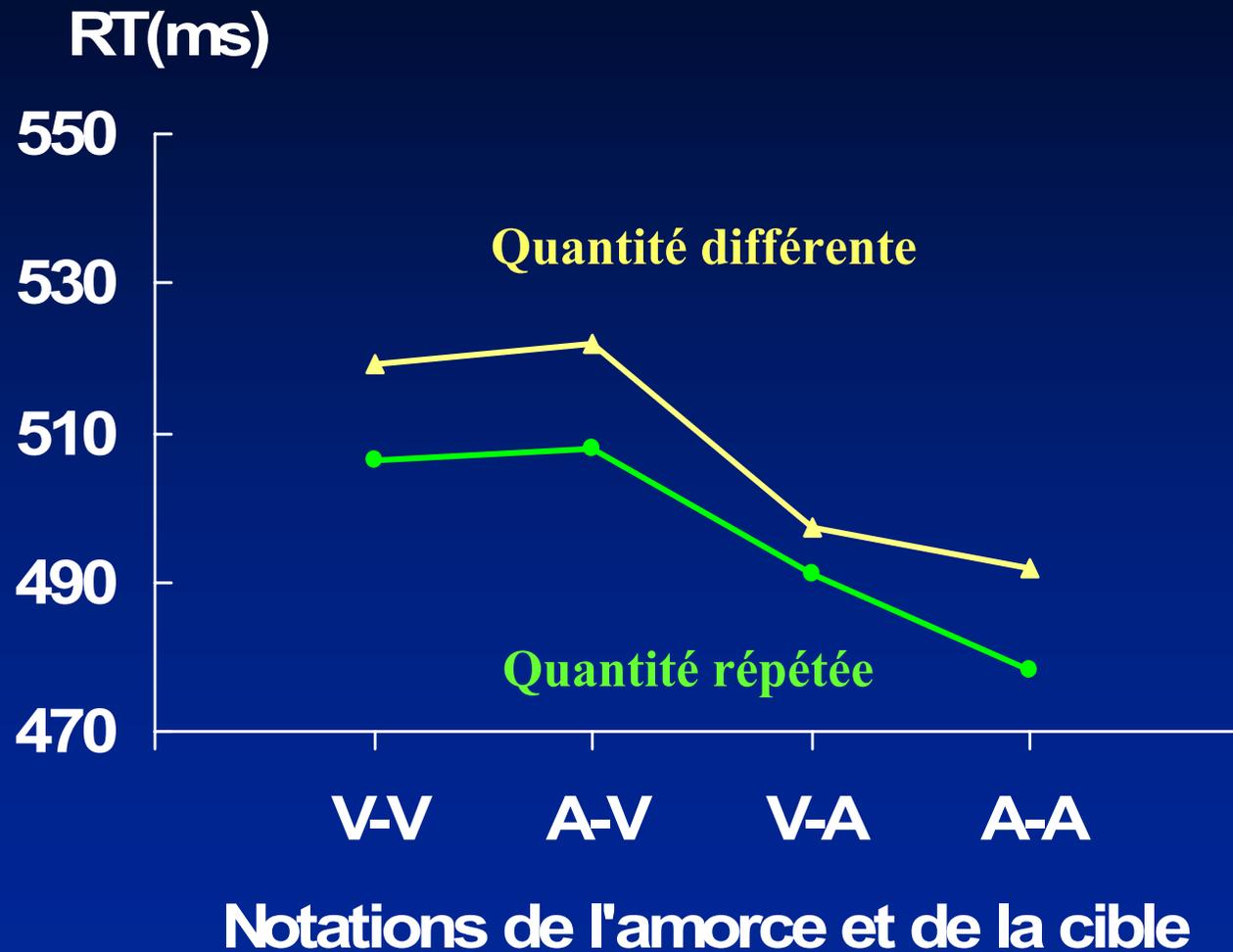


**Deux quantités différentes**

**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.

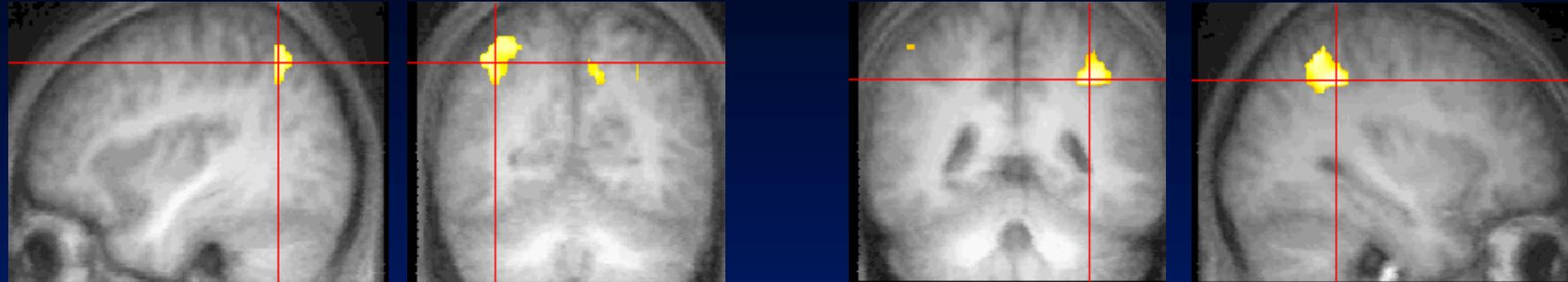
## Effet d'amorçage dans les temps de réponse



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.

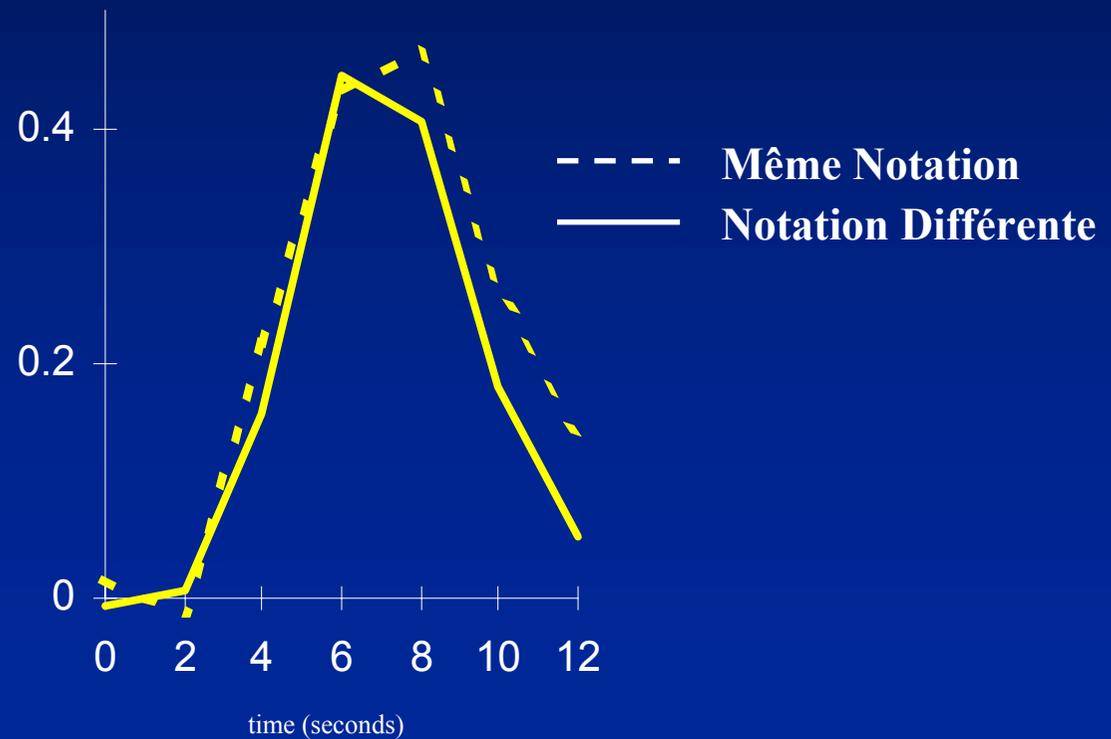
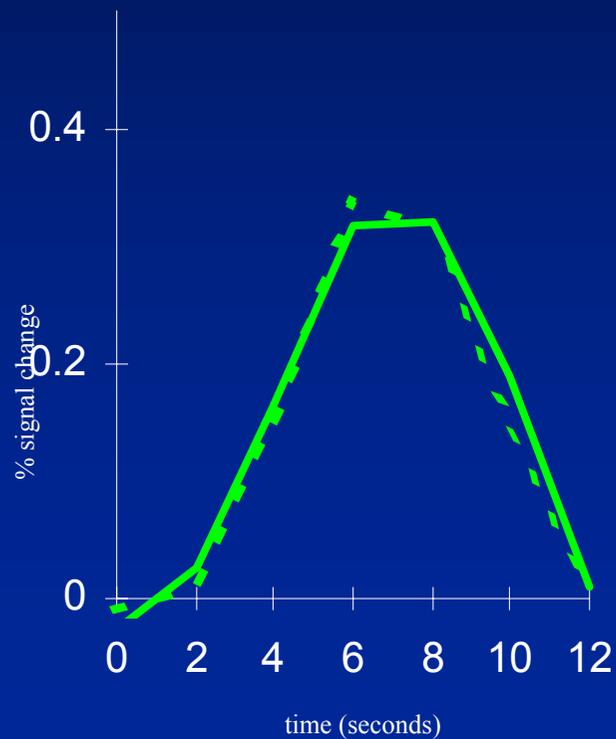
# Traitement inconscient de la quantité

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.