

Mécanismes cérébraux de la lecture

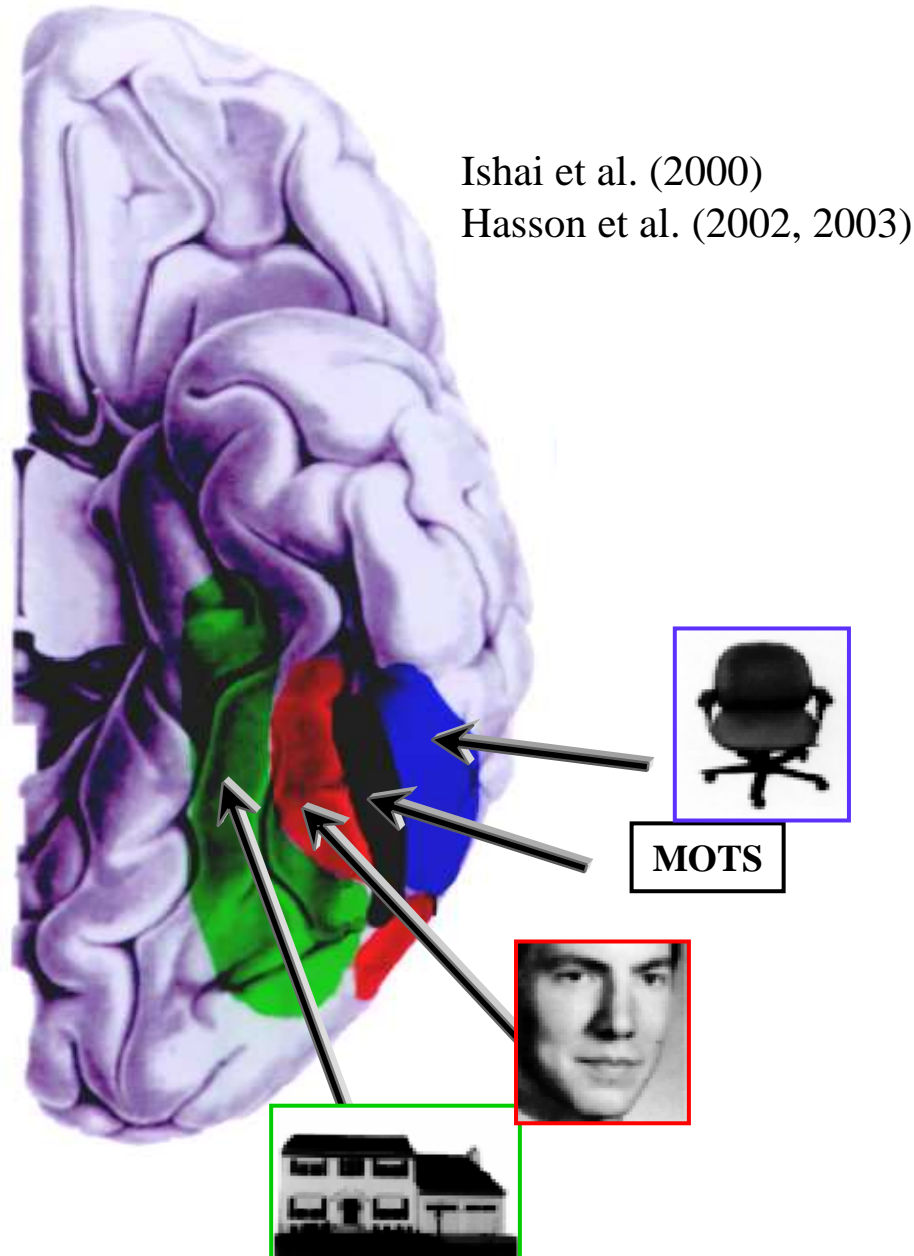
Stanislas Dehaene

Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Troisième Cours

Vers une physiologie de la lecture (II)

La lecture fait appel à une région bien précise
au sein de la mosaïque de régions spécialisées du cortex temporal ventral



Quelques problèmes que notre système visuel résout lorsqu'il identifie un mot

1. Reconnaissance invariante pour la position, la taille, et la casse:

deux quatre six huit

deux quatre six huit

DEUX QUATRE SIX HUIT

DeUx qUaTrE sIx HuIt

Deux quatre six huit

2. Amplification de différences petites mais pertinentes: deux doux

3. Sensibilité à l'agencement des composants:

TREFLE

REFLET

4. Variabilité culturelle des formes de surface:

מברג

屋顶

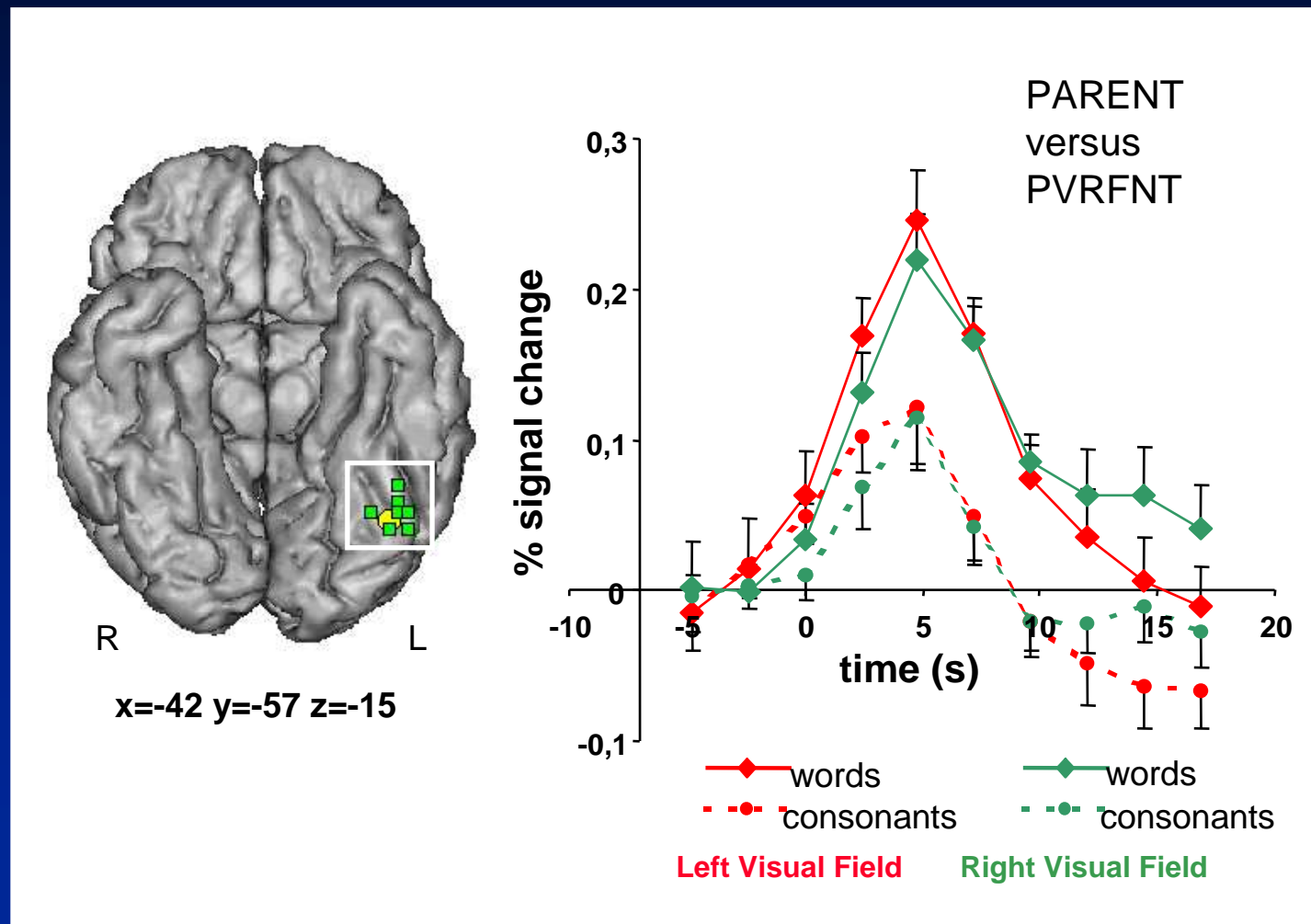


5. Apprentissage de régularités orthographiques:

qhgks collège

Apprentissage culturel: sensibilité aux régularités orthographiques des mots

La région occipito-temporal ventrale gauche répond aux mots plus qu'aux chaînes de consonnes

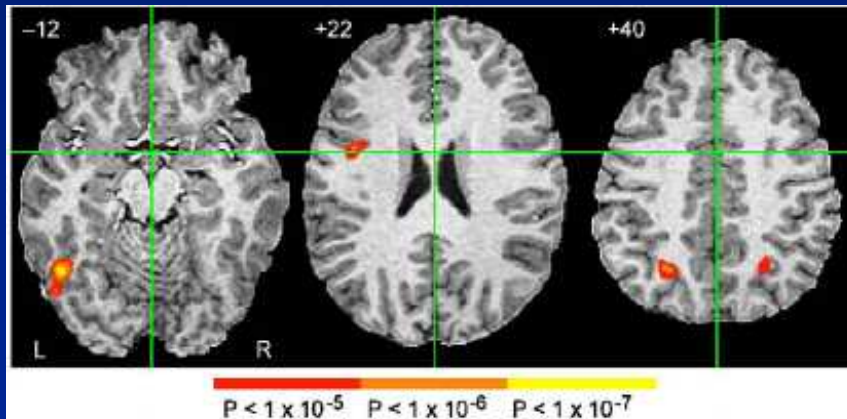


Apprentissage culturel: sensibilité aux régularités orthographiques des mots

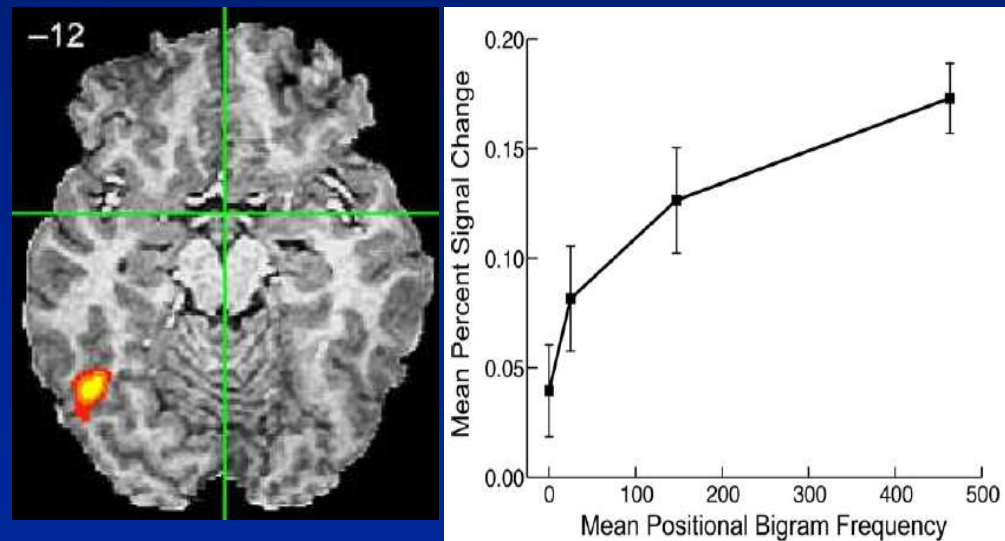
La région occipito-temporal ventrale gauche répond aux pseudo-mots en proportion directe de la fréquence de leurs bigrammes.

- Sélection de 4 catégories de chaînes de lettres en fonction de la fréquence de leurs bigrammes à une position donnée.
exemples: cvgzm axmnr vamws icnre
- Tâche = détection de lettres ascendantes (t, l...)

Réseau corrélé avec la familiarité orthographique



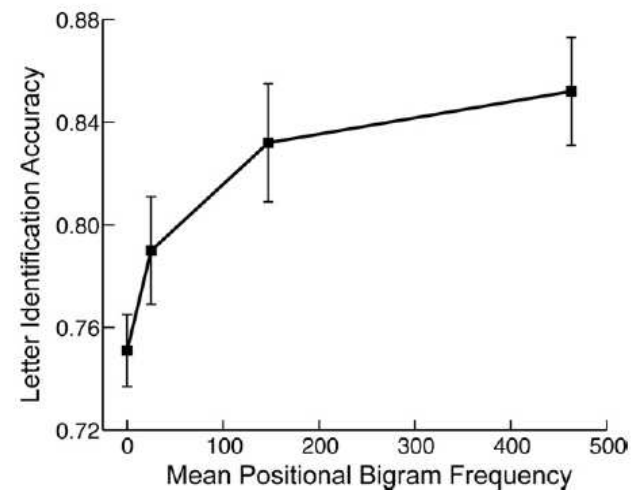
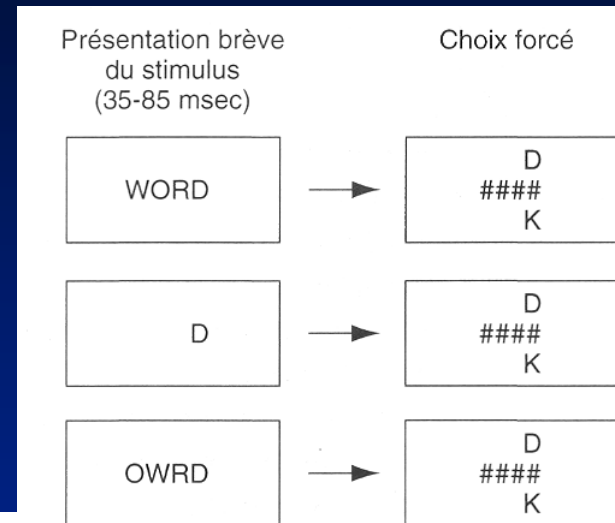
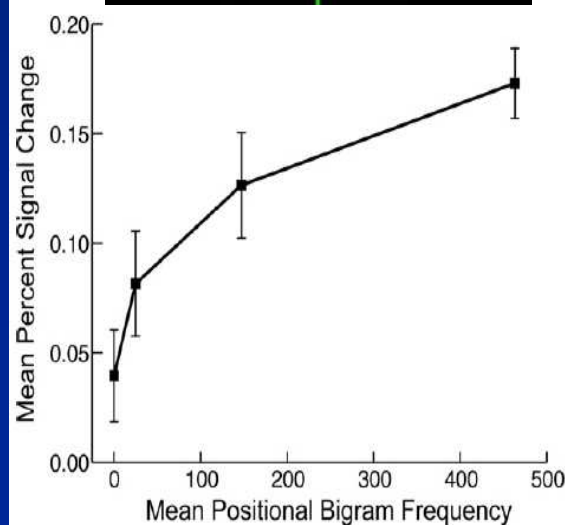
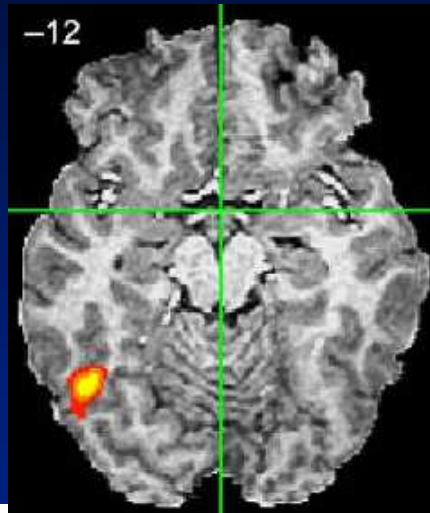
Après régression de l'effet du temps de réaction, ne reste que l'activation occipito-temporale ventrale gauche



Apprentissage culturel: sensibilité aux régularités orthographiques des mots

Lien avec l'effet de supériorité lexicale:

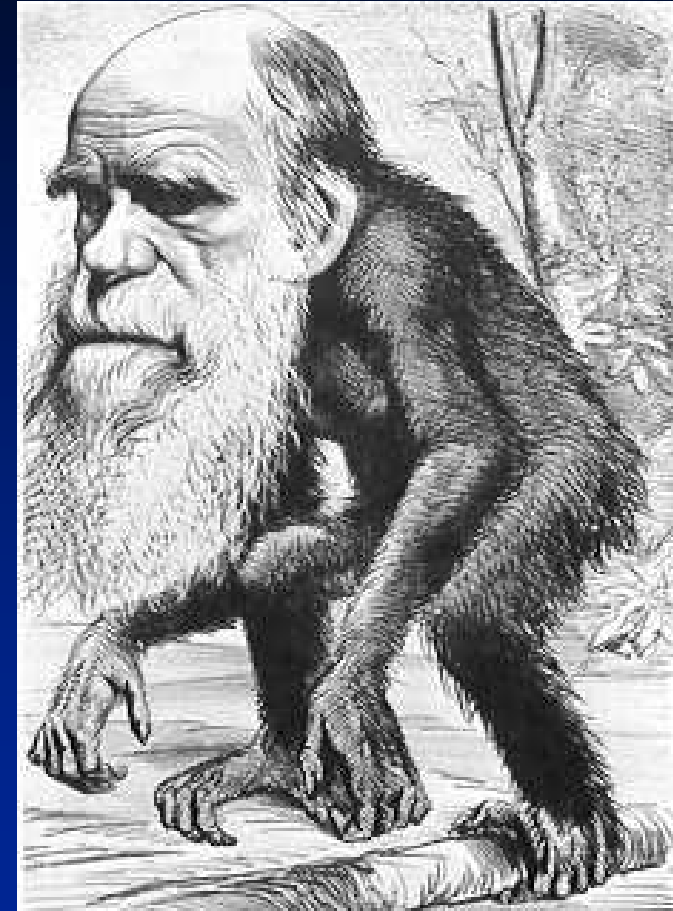
- L'activation fusiforme a exactement le même profil que les performances des sujets en identification de lettres



Binder et al. (2006)
Neuroimage

Le « paradoxe de la lecture »

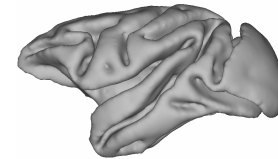
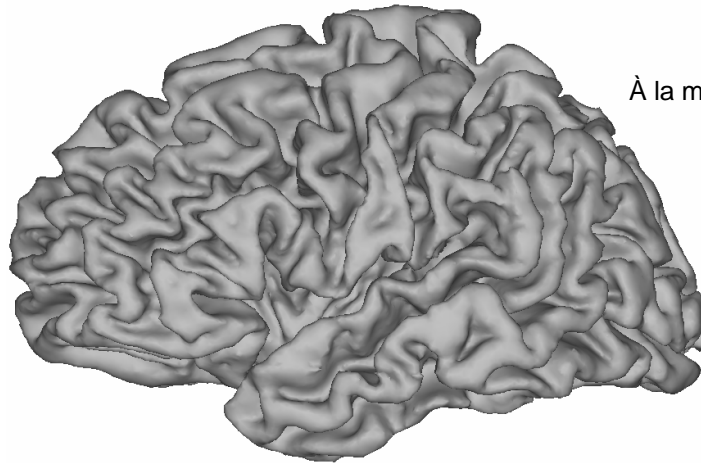
- Tous les bons lecteurs font appel à une région restreinte qui paraît hautement adaptée à la reconnaissance invariante des lettres et des mots
 - Sa localisation est reproductible à travers les individus et les cultures (écart-type ~5-7 mm)
 - Pourtant, la lecture est une activité bien trop récente pour avoir exercé une pression sélective sur l'évolution de notre cerveau
- « paradoxe de la lecture »
- Chez tous les primates, la région occipito-temporale ventrale joue un rôle essentiel dans la reconnaissance invariante des objets et des visages.
 - Nous la « recyclons » pour la lecture
 - Cette région réalise déjà l'invariance pour la position, la taille et l'angle de vue
 - Elle contient déjà un alphabet de formes proches de celles de nos lettres



Une première homologie fondée sur les aires de Brodmann

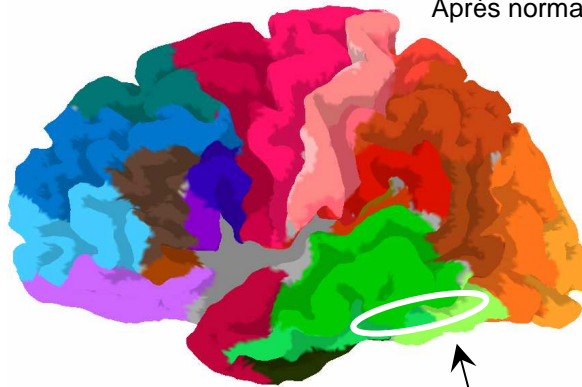
Cerveau humain

Cerveau de
singe macaque

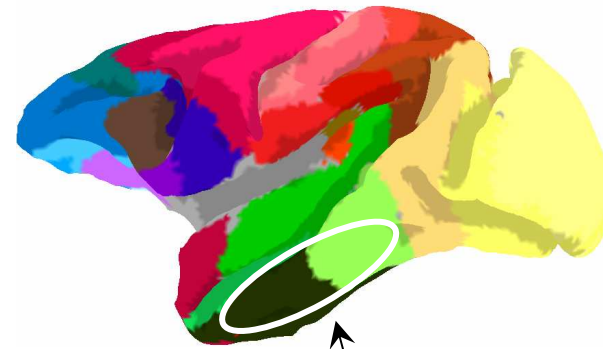


À la même échelle

Après normalisation pour la taille



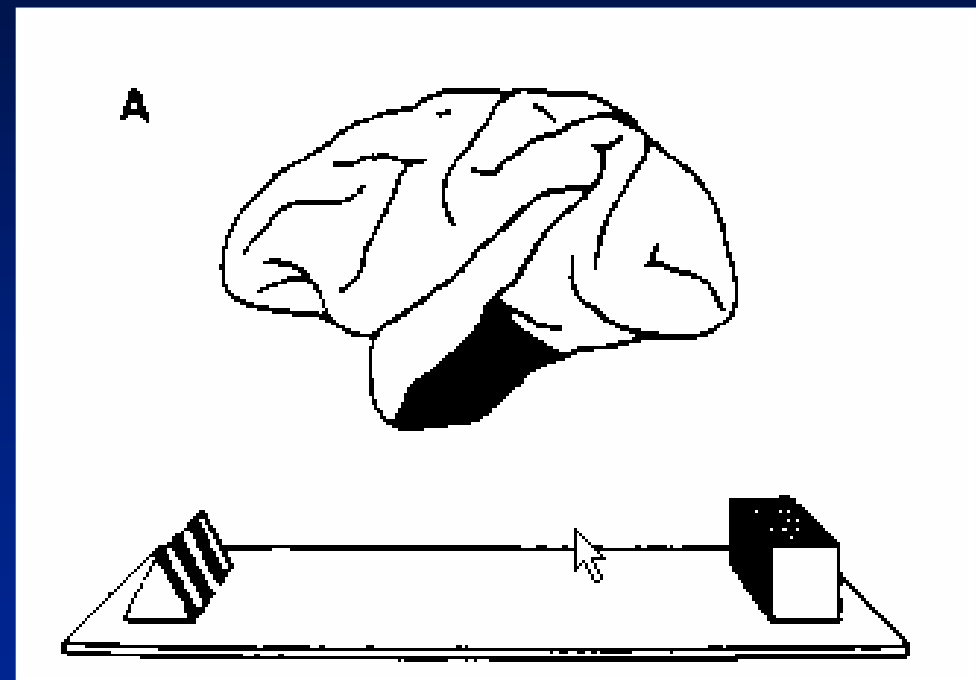
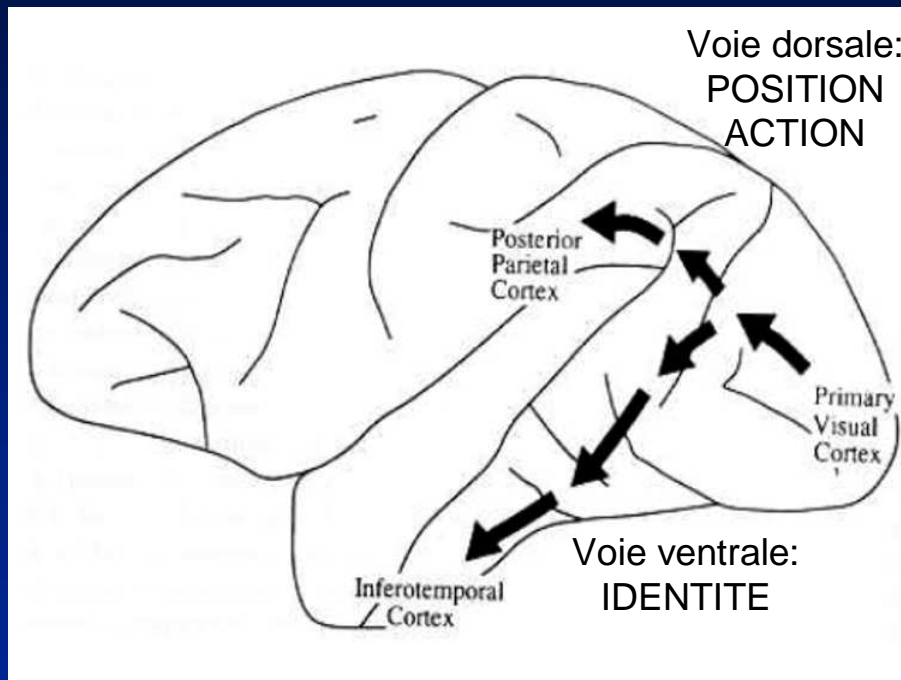
Reconnaissance visuelle
des objets, des visages
et des mots écrits



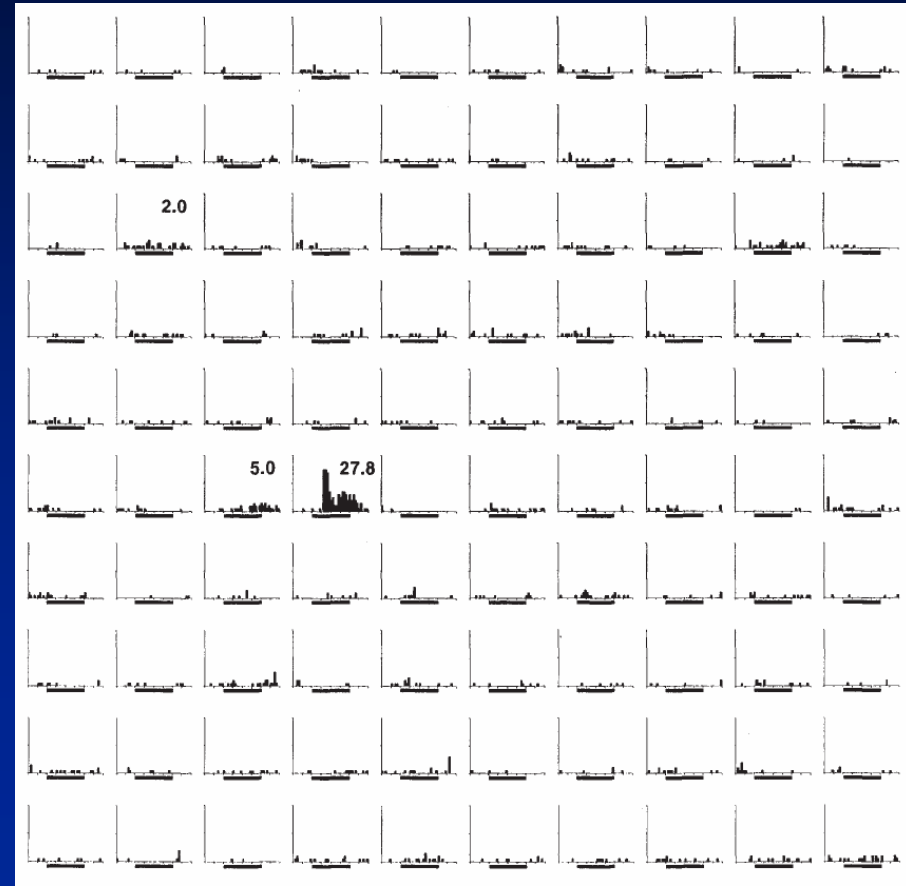
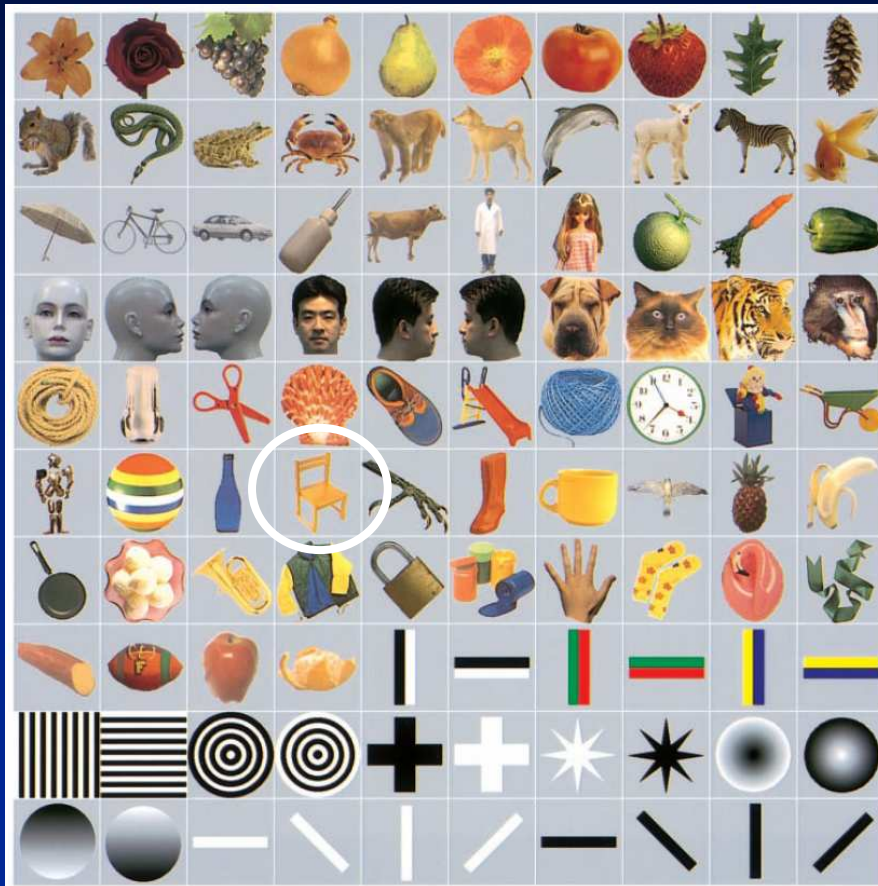
Reconnaissance visuelle
des objets et des visages

La lecture fait appel aux régions du cerveau impliquées dans la reconnaissance visuelle des objets

Les lésions du cortex inféro-temporal affectent la reconnaissance de l'identité des objets

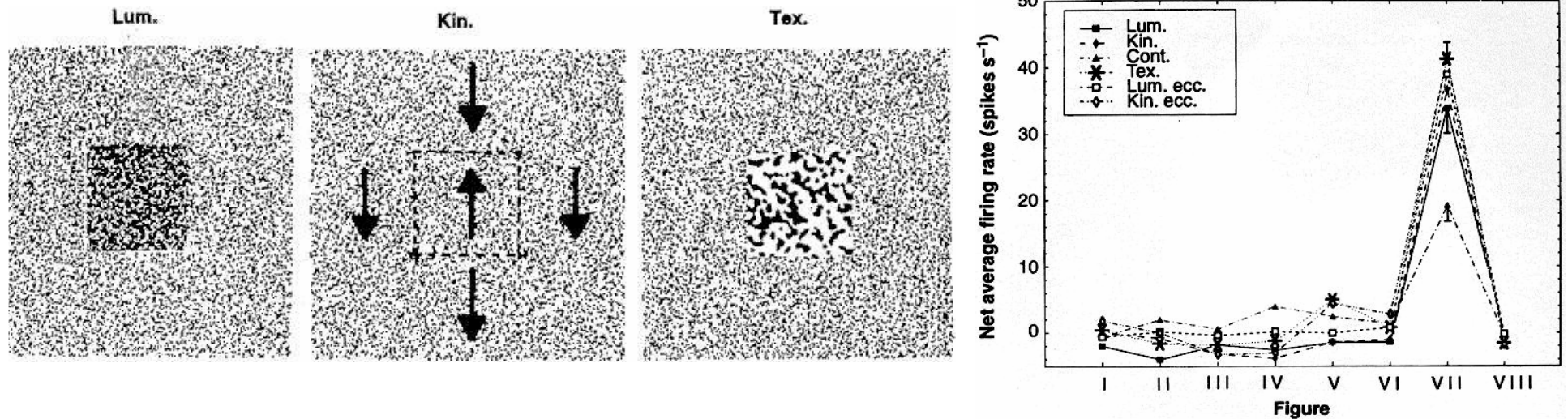


Chez le singe macaque, la région inféro-temporale contient des neurones spécialisés pour la reconnaissance visuelle des objets

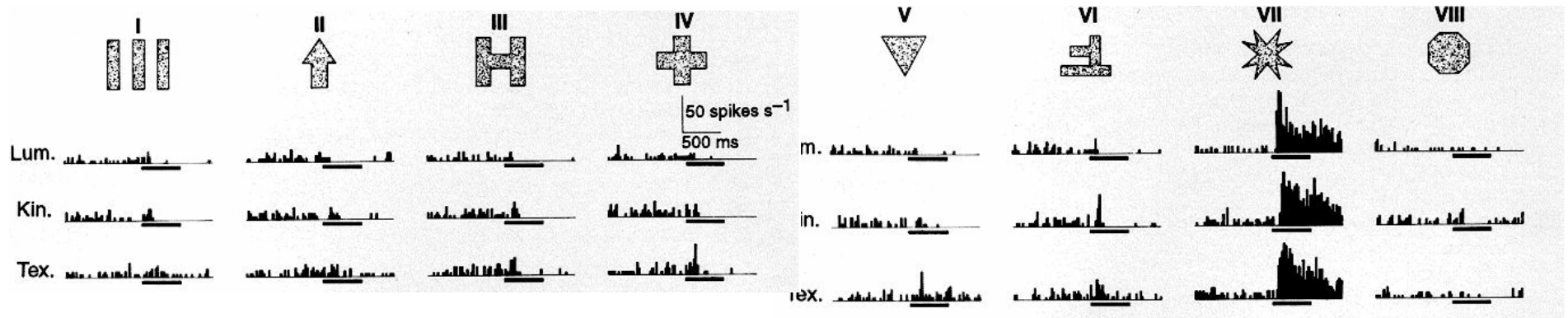


Invariance pour la taille, la position, et les indices de forme dans le cortex inféro-temporal

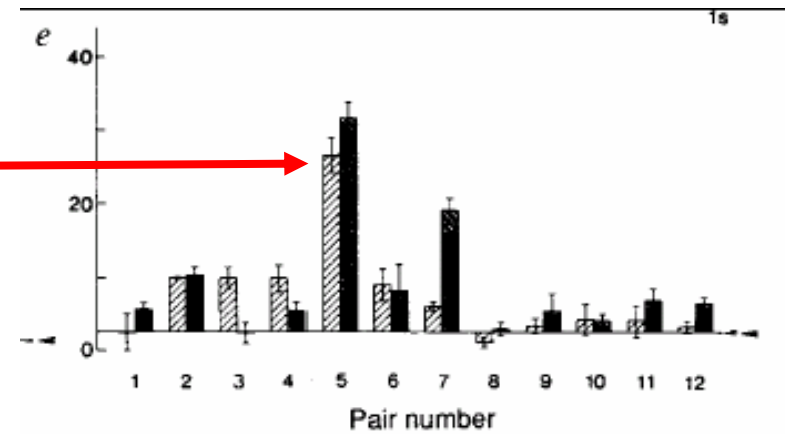
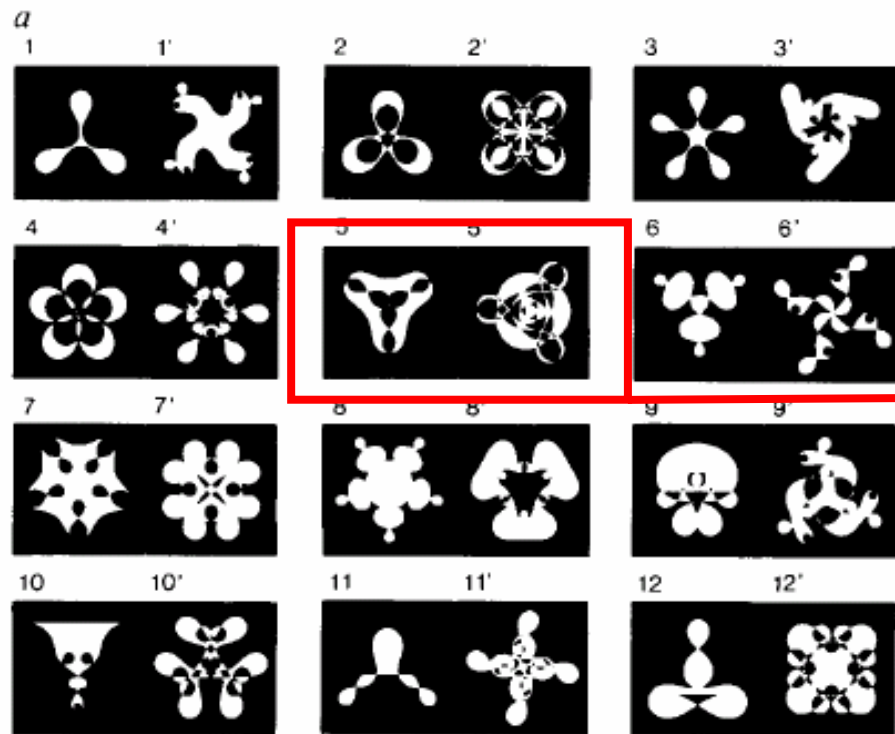
Sary, Vogels & Orban, *Science* (1993)



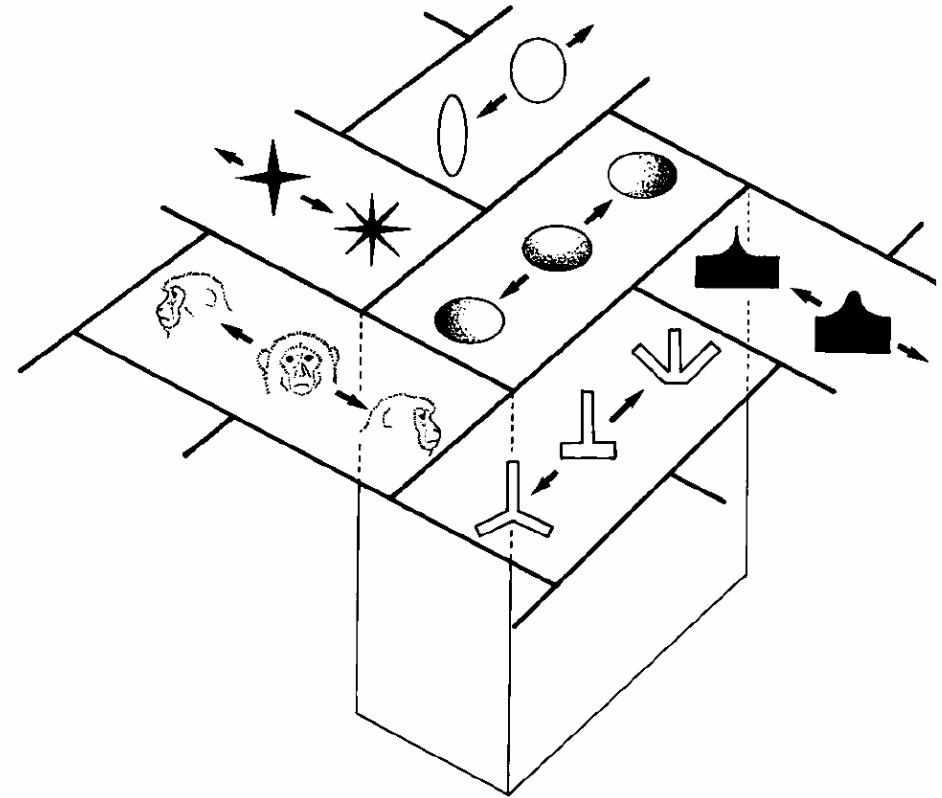
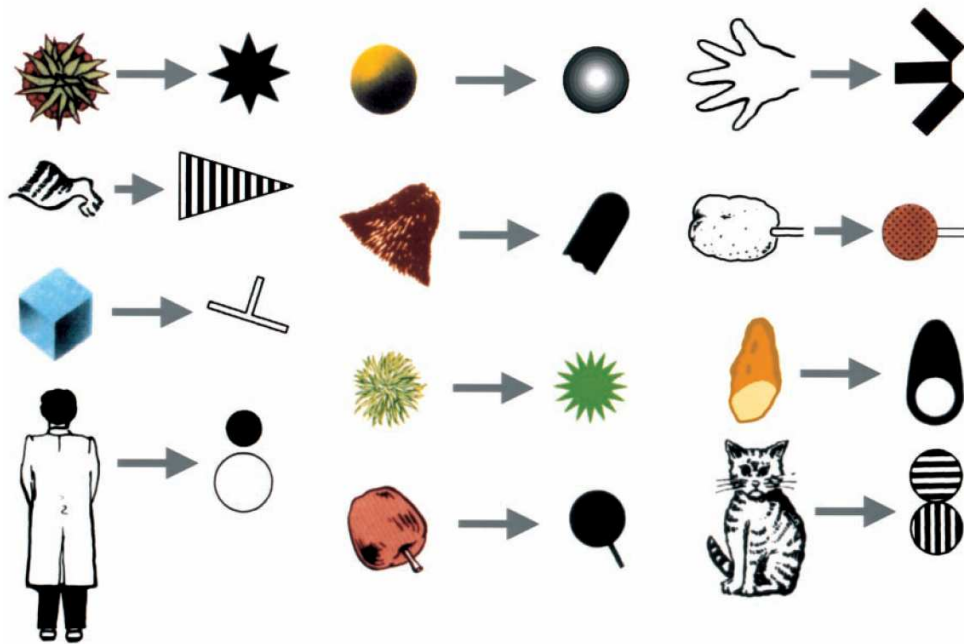
Un neurone donné préfère une forme, quels que soient les indices qui la signalent



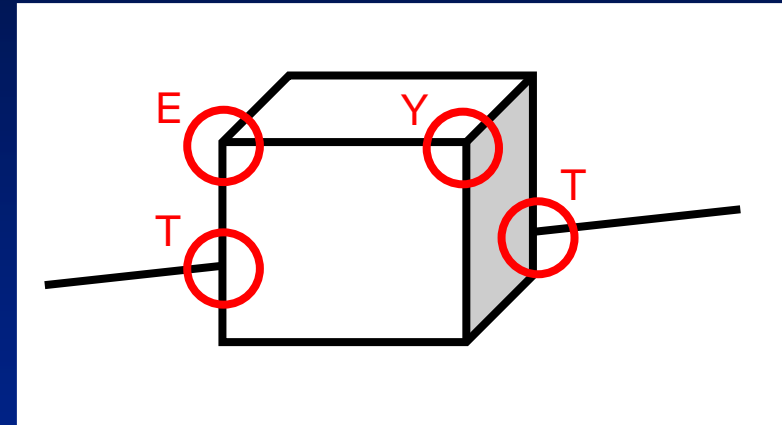
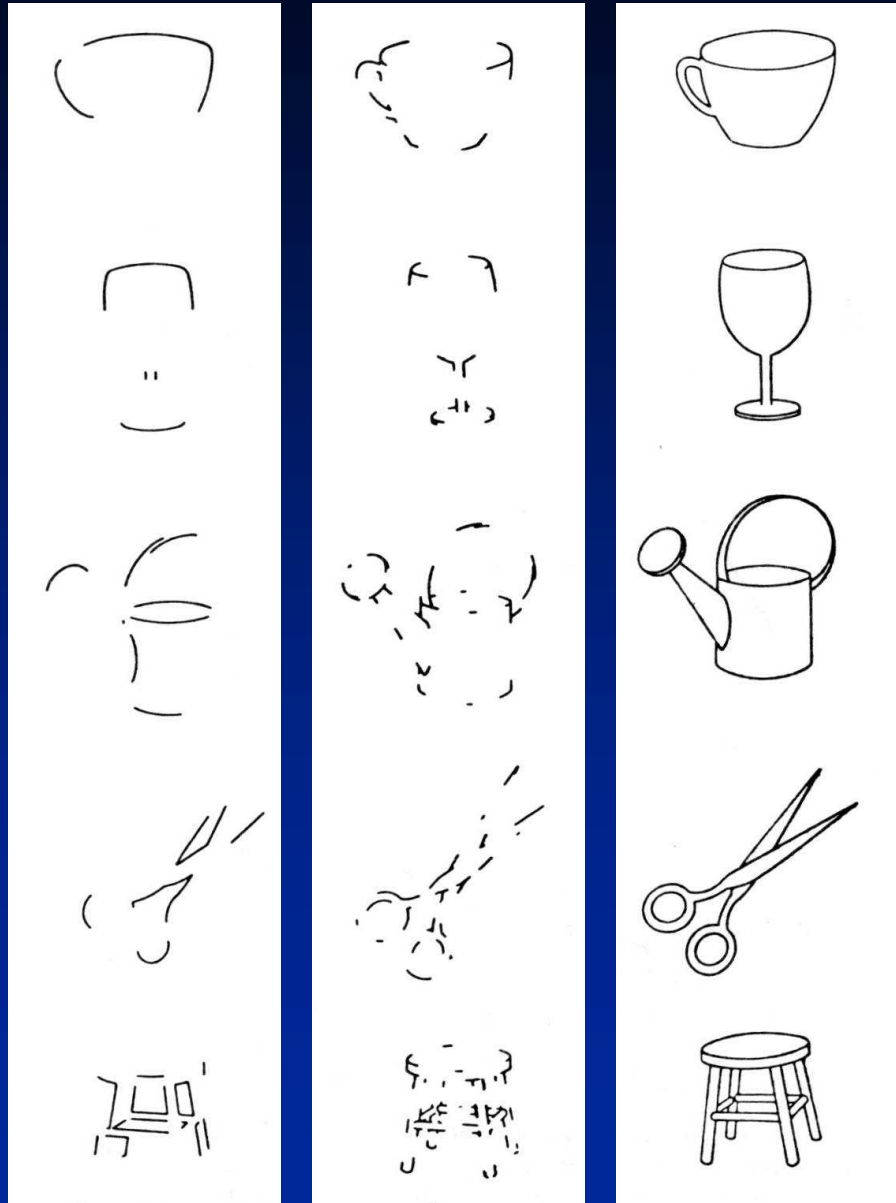
Les neurones inféro-temporaux peuvent apprendre à reconnaître des formes arbitraires et à les associer



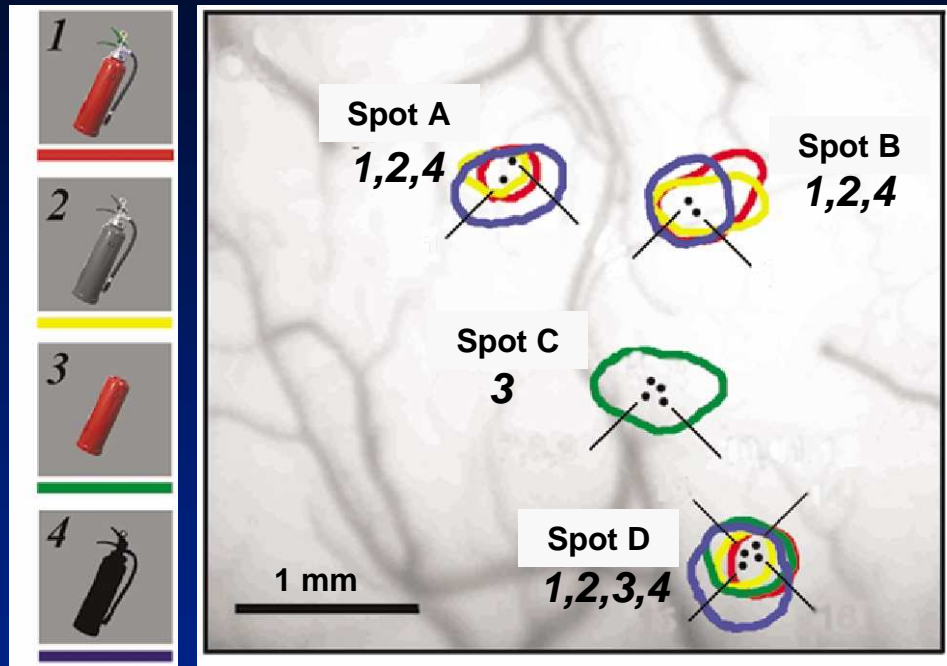
Un alphabet de formes élémentaires dans le cortex inféro-temporal



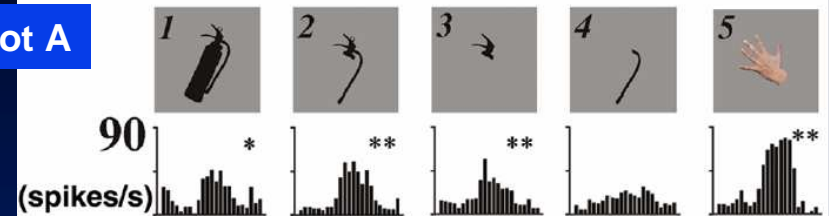
Une origine possible de l'« alphabet » des neurones inféro-temporaux: les propriétés non-accidentelles des objets



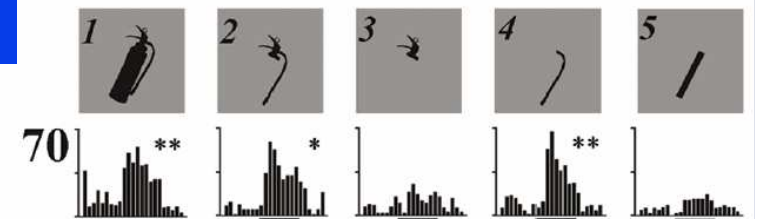
Chaque objet complexe est représenté dans le cortex inféro-temporal par l'arrangement de ses parties



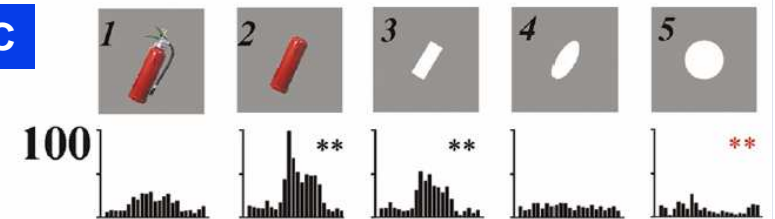
Spot A



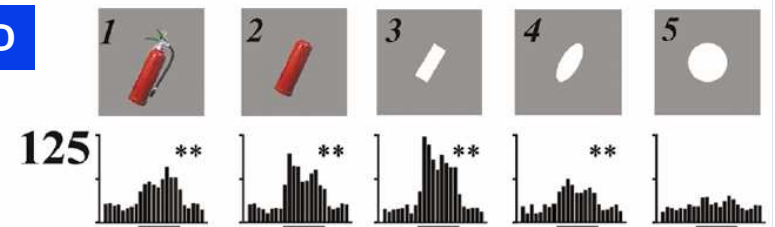
Spot B



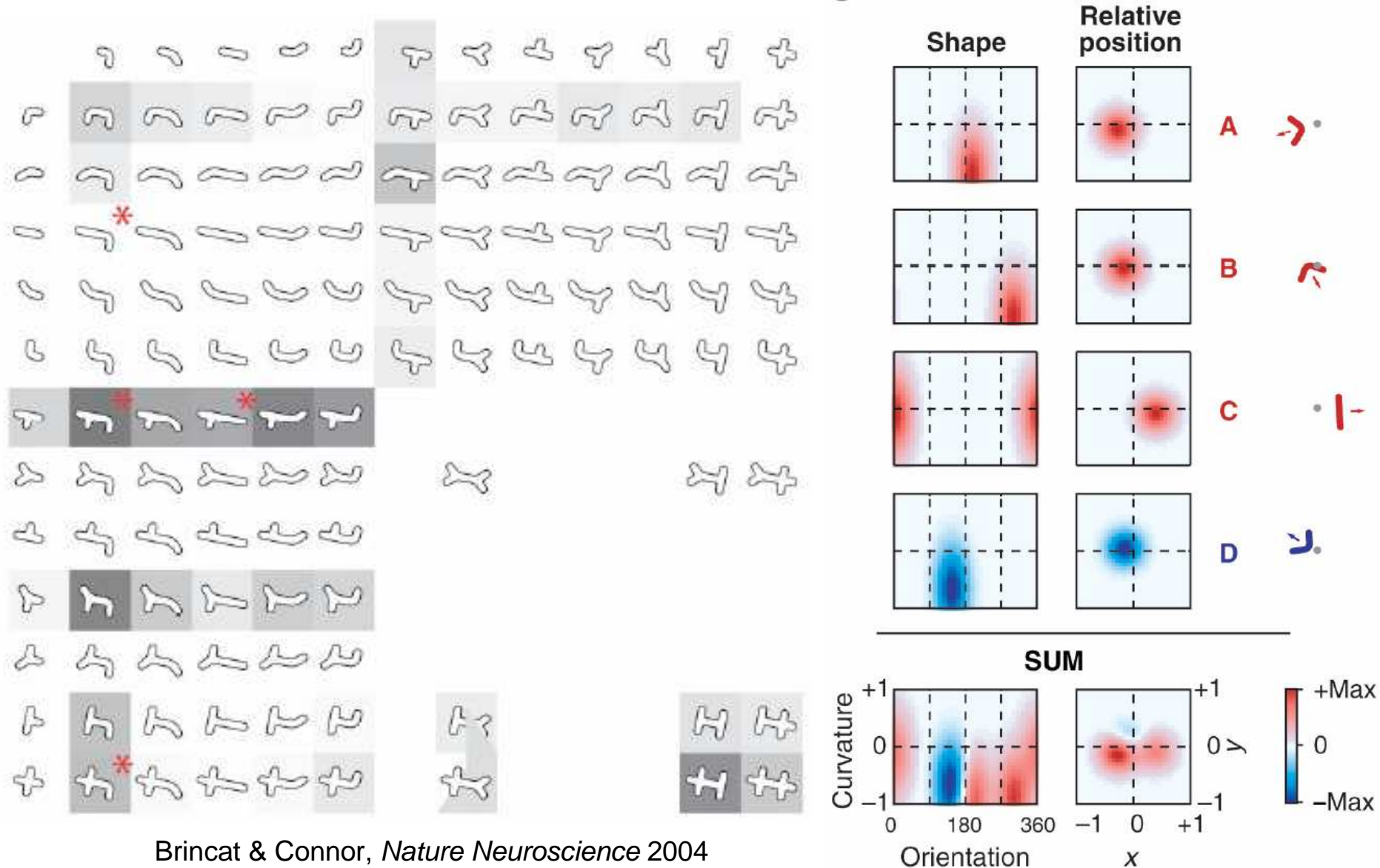
Spot C



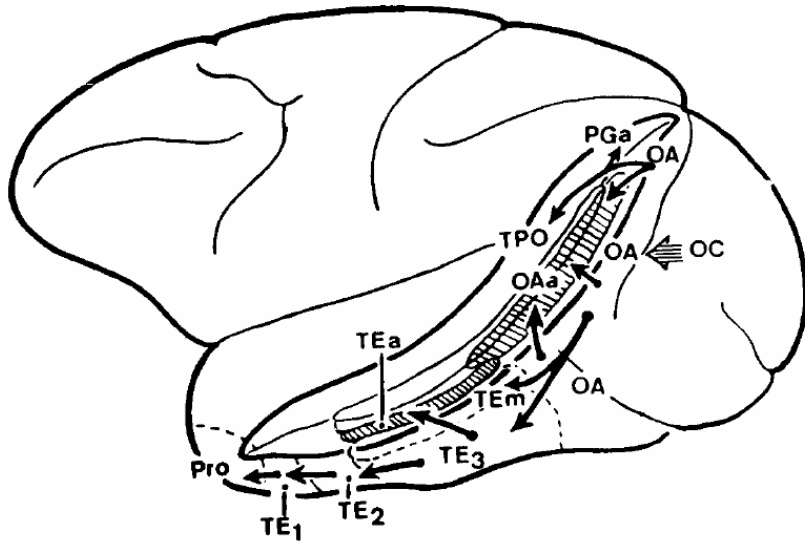
Spot D



Dans le cortex inféro-temporal postérieur, la réponse aux formes s'explique également par une combinatoire de droites et de courbes élémentaires

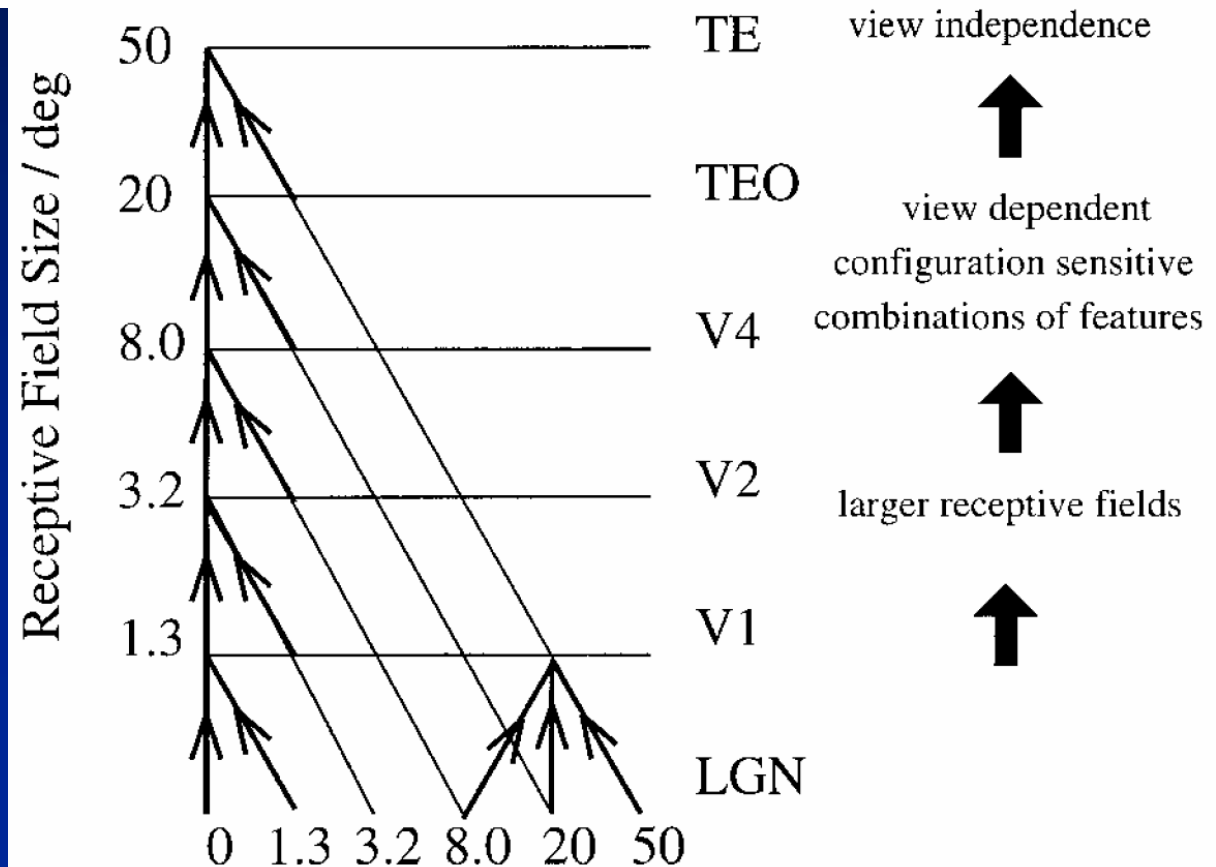


Brincat & Connor, *Nature Neuroscience* 2004

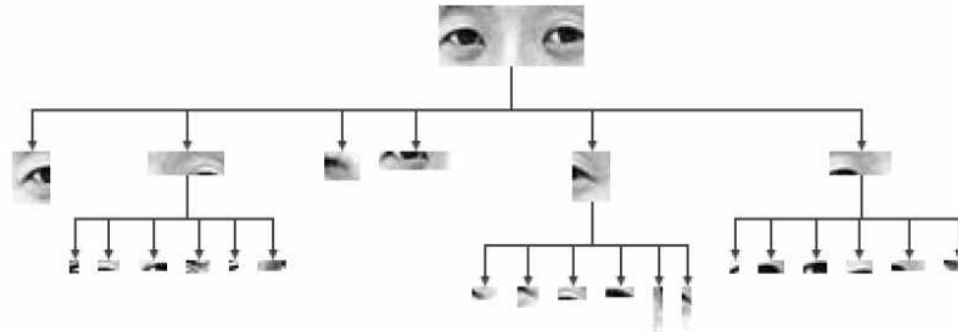
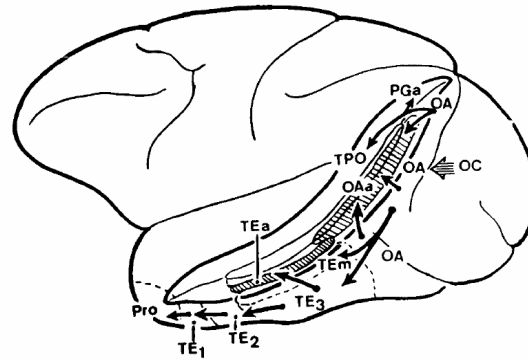


Chez le singe, une hiérarchie de neurones implémente la reconnaissance visuelle invariante

- Rolls, *Neuron* 2000
- see also Tanaka, Logothetis, Poggio, Perrett, etc.



Modèle de reconnaissance des objets par une pyramide hiérarchique de traits élémentaires



Shimon Ullman

La reconnaissance visuelle des mots pourrait reposer sur une pyramide hiérarchique de neurones codant pour les **lettres**, les **bigrammes**, et les **morphèmes**

Le modèle LCD (Local Combination Detectors)

Dehaene et al. *TICS*, 2005

Aire présumée

Unité codée

Structure du champ récepteur

Exemples de stimuli préférés

Sillon occipito-temporal gauche?
($y \approx -48$)

Petits mots et chaînes récurrentes de lettres (morphèmes)

TE EN
EN NT
TN ET

TENT sentent
CONTENT

Sillon occipito-temporal gauche?
($y \approx -56$)

Bigrammes locaux (« ouverts »)

EEN NN

EEN En

Aire V8 bilatérale?
($y \approx -64$)

Détecteurs de l'identité abstraite des lettres

E e

E e

Aire V4 bilatérale?

Forme des lettres (dans une casse donnée)

E E e

E E e

Aire V2 bilatérale

Contours locaux (fragments de lettres)

F F

F F

Aire V1 bilatérale

Barres orientées

+

+

Corps genouillé latéral

Contraste local

- + -

- + -

- + -



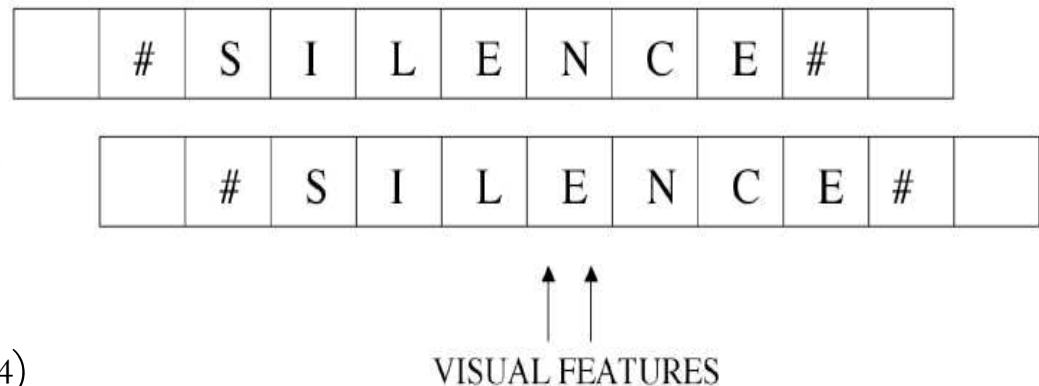
Quel code pour la reconnaissance visuelle des mots?

- De nombreux modèles postulent que l'entrée visuelle est rapidement recodée sous forme d'un **tableau de lettres**
 - Cependant, ce code n'est pas invariant pour le déplacement spatial
 - D'autres schémas ont été proposés : alignement à gauche, à droite, centrage, triplets de lettres (« wickelgraphs »)...
 - Mais (1) ils ne proposent pas de mécanisme explicite d'invariance spatiale (2) ils ne prédisent pas correctement la similarité des mots
 - Expériences d'amorçage masqué: (##### amorce ##### cible ; voir cours 2; Humphreys, Evett, & Quinlan, 1990; Peressotti & Grainger, 1999)
- la chaîne « jrdn » amorce « jardin » (amorçage 1346)
- alors que: (1) « jtrdhn » (1#34#6) ne donne pas plus d'amorçage;
(2) « jdrn » (1436) ne donne aucun amorçage

→ Les résultats généralisent aux lettres internes (« arict » amorce « abricot », « acirt » ne le fait pas).

→ l'amorçage résiste bien à la transposition de deux lettres (bagde → badge)

(Perea & Lupker, 2003; Schoonbaert & Grainger, 2004)

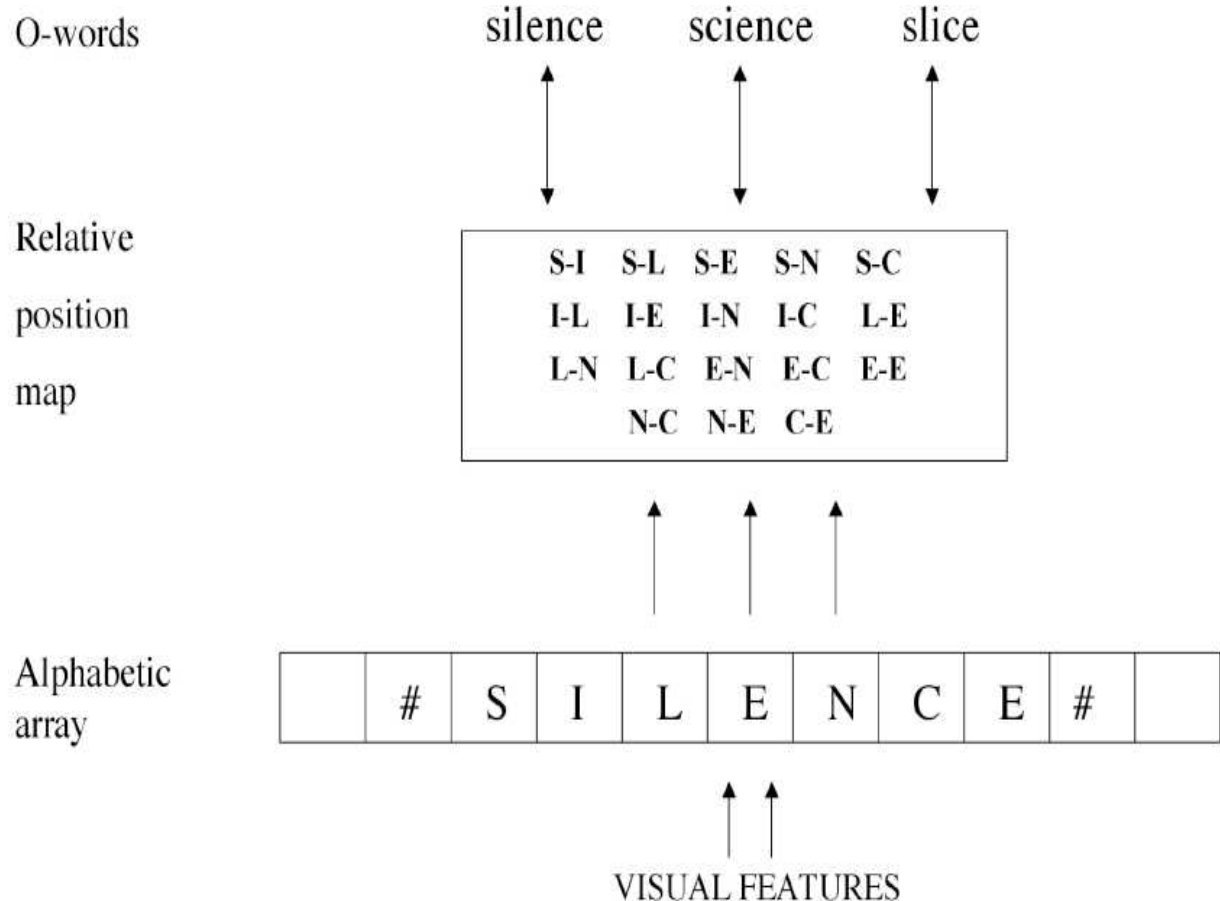


Aoccdrnig to a rscheearch at Cmabrigde Uinervtisy, it deosn't mttær in waht oredr the ltteers in a wrod are, the olny iprmoetnt tihng is taht the frist and lsat ltteer be at the rghit pclae. The rset can be a toatl mses and you can sitll raed it wouthit porbelm. Tihs is bcuseae the huamn mnid deos not raed ervey lteter by istlef, but the wrod as a wlohe.

Sleon une édtue de l'Uvinertisé de Cmabrigde, l'odrre des ltteers dnas un mto n'a pas d'ipmrotncae, la suele coshe ipmrotnate est que la pmeirère et la drenèire soenit à la bnnoe pclae. Le rsete peut êrte dnas un dsérorde ttoal et vuos puoevz tujoruos lrie snas porlblème. C'est prace que le creaveu hmauin ne lit pas chuaqe ltetre elle-mmêe, mias le mot cmome un tuot.

Quel code pour la reconnaissance visuelle des mots?

- Le codage par « bigrammes ouverts » permet d'expliquer tous ces résultats (Grainger & van Heuven, 2003; Grainger & Whitney, 2004)
- Le mot « badge » est codé par la liste de 10 bigrammes: BA, BD, BG, BE, AD, AG, AE, DG, DE et GE ; 90% des bigrammes sont inchangés dans « bagde ».
- La proportion de bigrammes ouverts communs prédit la quantité d'amorçage observée (Grainger et al, manuscript soumis, 2006)
- Dans le modèle LCD, les bigrammes sont **locaux**
 - explique l'amorçage « 1469 » (prédit une limite de deux lettres d'écart maximum)
 - permet de désambigüiser des mots comme « anna » et « nana », « isis » et « sissi »



Questions ouvertes autour du modèle LCD

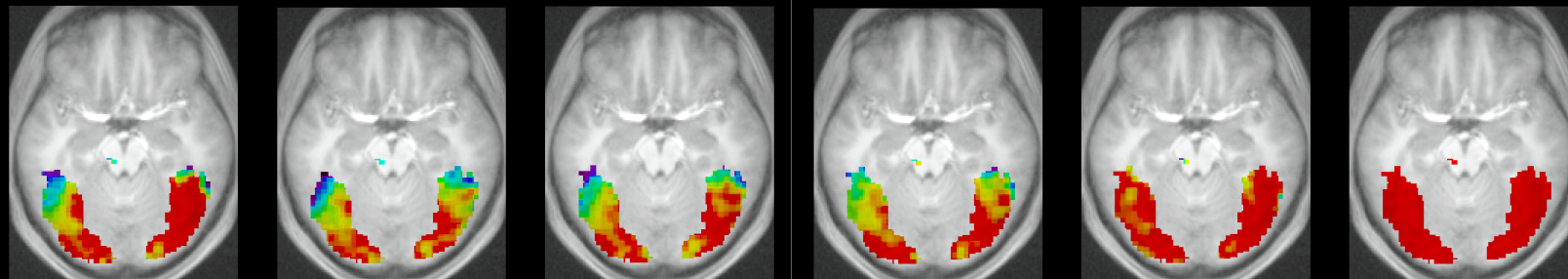
- Le modèle est présenté sous une forme strictement « ascendante » (« bottom-up »)
- Toutefois, au cours de la reconnaissance d'un mot:
 - les connections horizontales peuvent représenter des lettres ou bigrammes dont la présence se renforce mutuellement
 - les connections descendantes peuvent désambigüiser l'information aux niveaux inférieurs (effet de supériorité lexicale)
- Au cours de **l'apprentissage**, le code est très vraisemblablement modifié par des contraintes descendantes.
- Tous les bigrammes ne sont vraisemblablement pas représentés, mais seulement certains:
 - les plus fréquents?
 - les plus faciles à extraire par ACP [analyse en composantes principales] ou ACI [analyse en composantes indépendantes]?
 - les plus informatifs pour les systèmes neuronaux en aval? Mais pour quelle tâche: récupération de la prononciation? récupération de la signification?
- La même question se pose au niveau des morphèmes. L'expérience montre que les mots sont décomposés en « pseudo-morphèmes » (baguette amorce bague; Rastle, Davis, Marslen-Wilson, & Tyler, 2000; Longtin, Segui, & Hallé, 2003; voir Frost et al, JEP:LMC 2005)
- codage en « unités statistiquement utiles » pour la lecture

collège

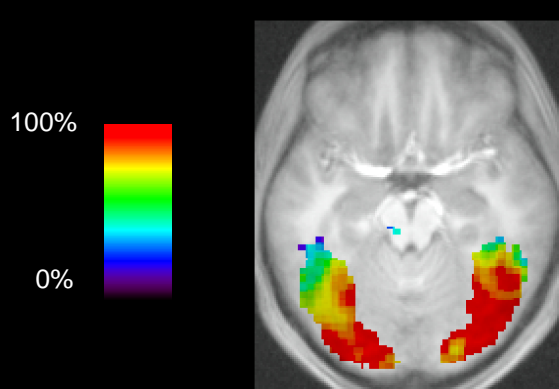
Imagerie de l'organisation hiérarchique du cortex occipito-temporal

Nous avons conçu une hiérarchie de stimuli qui ressemble de plus en plus à des mots. Leurs éléments (lettres, bigrammes, quadrigrammes) devraient être reconnus par des neurones de plus en plus avancés dans la hiérarchie occipito-temporale ventrale. On prédit donc un **gradient d'activité** au sein de cette région.

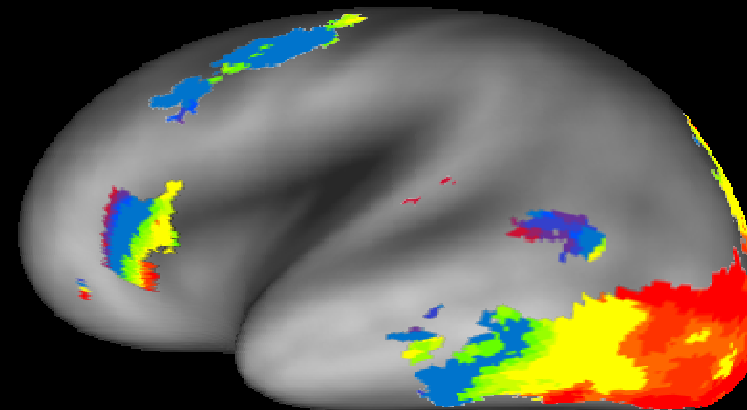
False Font	Infrequent Letters	Frequent Letters	Frequent Bigrams	Frequent Quadrigrams	Words
ϛϣπϣπκ	JZWYWK	QOADTQ	QUMBSS	AVONIL	MOUTON



False fonts Infrequent letters Frequent letters Bigrams Quadrigrams Words

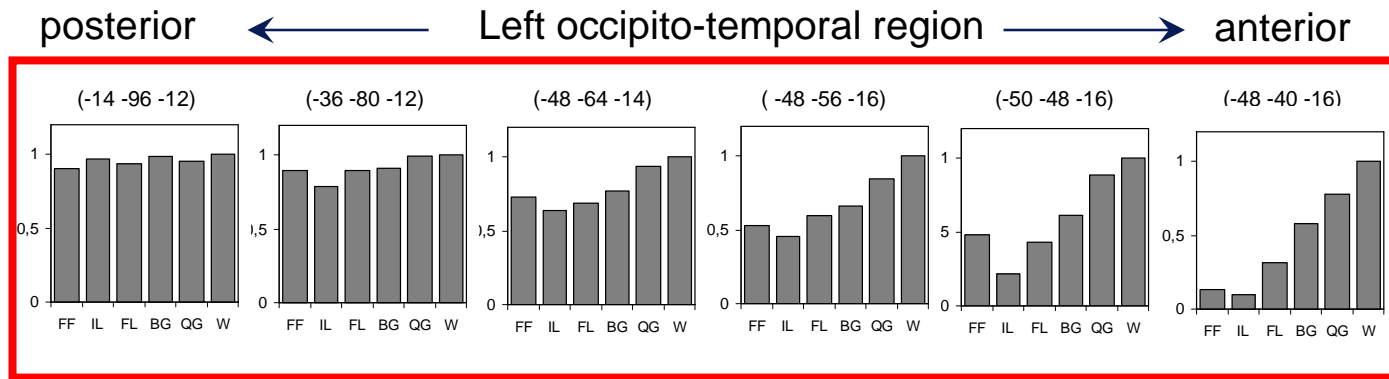


Average of non-word stimuli



Percent activation relative to words in the occipitotemporal cortex

Organisation hiérarchique du cortex occipito-temporal



Niveau d'activation (exprimé en proportion de l'activité évoquée par les mots) dans une série de régions occipitales et temporales ventrales

