

# Mécanismes cérébraux de la lecture

Stanislas Dehaene

Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Premier Cours

La reconnaissance visuelle des mots



Grotte Chauvet  
~32,000 ans



Grotte de Lascaux  
~18,000 ans



# Invention de l'écriture

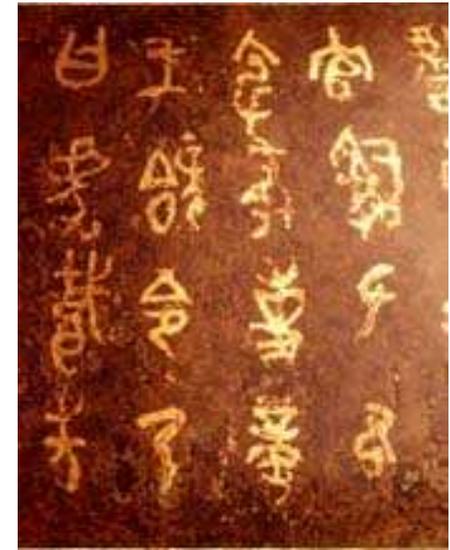
Hiéroglyphes égyptiens



Cunéiforme

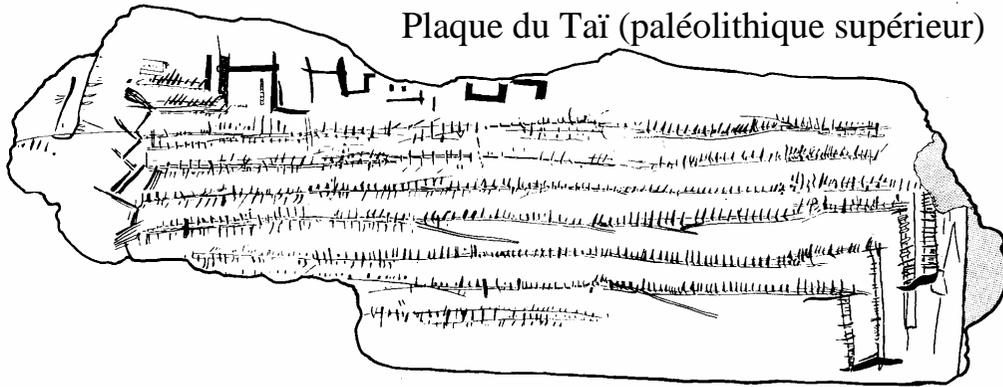


Chinois



Maya





Plaque du Taï (paléolithique supérieur)

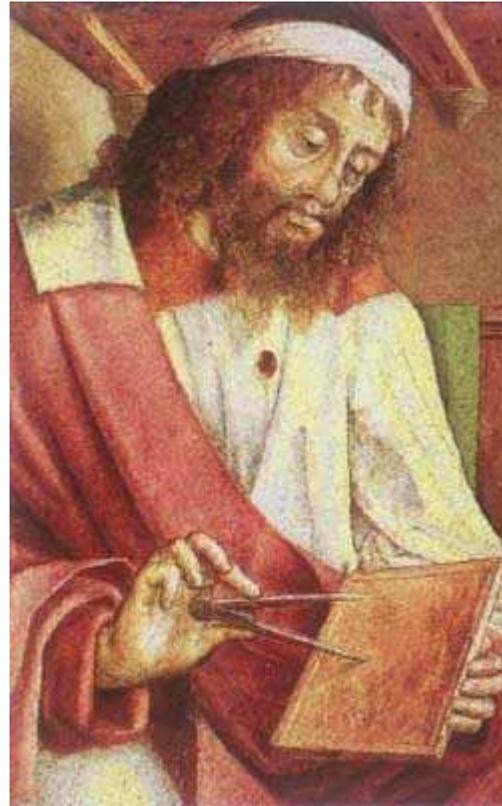
## Emergence de symboles mathématiques



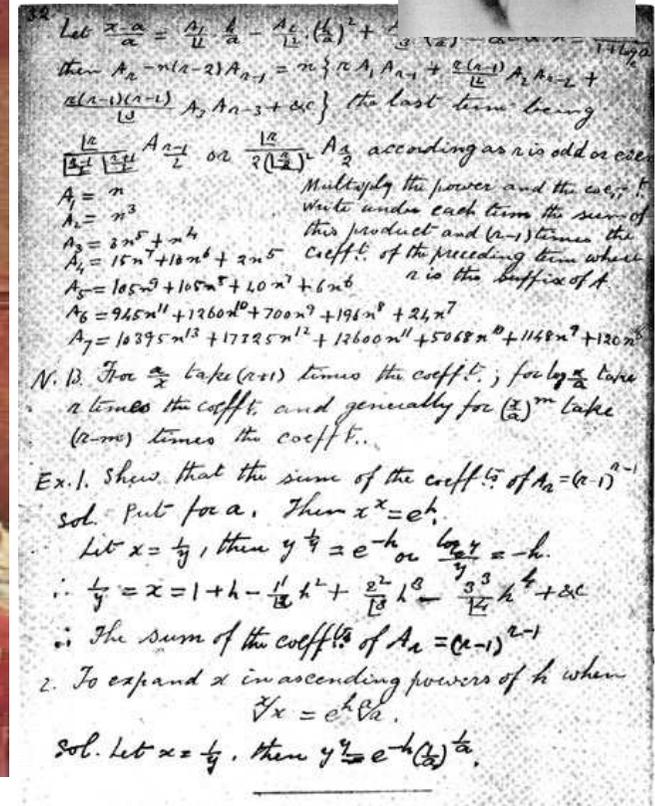
Papyrus Rhind



Elements d'Euclide

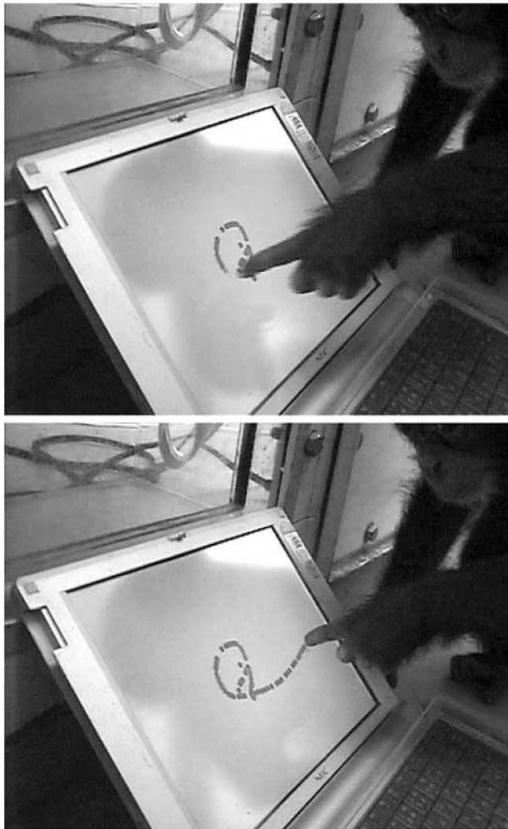


Carnets de Ramanujan



# La singularité culturelle de l'espèce humaine

Tracé de courbes sur une tablette graphique  
par un chimpanzé de 13 mois  
(Tanaka et al., 2003)

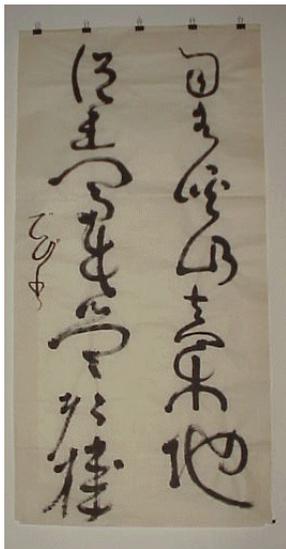


“Composition” produite par un chimpanzé adulte  
vivant en semi-autonomie dans la réserve forestière  
de Mefou au Cameroun (© Canadian Ape Alliance)

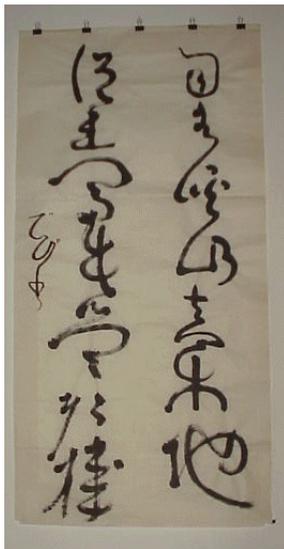


- Les grands primates ont clairement des capacités d'apprentissage, y compris l'utilisation d'outils (Iriki, 2005) et même de symboles tels que les chiffres arabes (Matsuzawa, 1985)
- Ils possèdent des traits « culturels » rudimentaires (Whiten et al., 1999) transmis localement
- Mais leur **créativité culturelle** est bien moindre que celle de l'espèce humaine

## Un débat classique : nature et culture



- L'humanité a conçu, en quelques dizaines de milliers d'années, des activités culturelles d'une extraordinaire diversité, dont l'écriture.
- Au premier abord, un gouffre semble séparer ces inventions culturelles de la biologie du cerveau.
- Comment pourrions posséder des régions spécialisées pour la lecture, sachant que l'écriture est une invention très récente (environ 5400 ans)? La sélection naturelle n'a pas eu la possibilité d'adapter notre architecture cérébrale aux difficultés particulières que pose la reconnaissance des mots.
- Rares sont les chercheurs en sciences sociales qui considèrent la biologie du cerveau et la théorie de l'évolution pertinentes pour leur domaine d'étude.
- La plupart adhèrent à un modèle implicite du cerveau que j'appellerai ici celui de la plasticité généralisée et du relativisme culturel, qui voit dans le cerveau humain un dispositif universel d'apprentissage
- Libéré des entraves de la biologie, le cerveau humain, à la différence de celui des autres espèces animales, serait capable d'absorber toute forme de culture, aussi variée soit-elle.



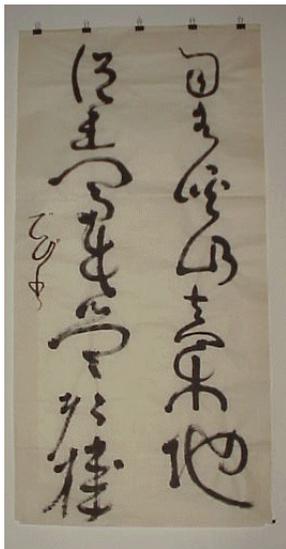
## Dépasser l'opposition nature-culture

- « La richesse et la spécificité des instincts des animaux expliqueraient leurs remarquables exploits dans certains domaines et leur manque de compétence dans d'autres ; tandis que l'espèce humaine, dépourvue de toute structure instinctive articulée, serait libre de penser, de parler, de découvrir et de comprendre sans bornes.

Tant la logique du problème que ce que nous commençons à comprendre suggère que cela n'est pas la bonne manière de caractériser la position de notre espèce dans le monde animal. »

Noam Chomsky, *Knowledge of Language*, 1986

# L'opposition nature-culture à la lumière des neurosciences cognitives



- Notre cerveau est évidemment capable d'apprentissage, sans quoi il ne pourrait jamais incorporer de nouveaux objets culturels. Mais cet apprentissage est étroitement limité.
- Chez tous les individus, dans toutes les cultures du monde, les mêmes régions cérébrales interviennent dans la lecture, et les mêmes contraintes caractérisent les systèmes d'écriture
- **Le modèle du recyclage neuronal:** Chaque objet culturel doit trouver sa « niche écologique » dans le cerveau : un circuit dont le rôle initial est assez proche, et dont la flexibilité est suffisante pour être reconverti à ce nouvel usage.
- Chaque circuit possède des propriétés intrinsèques qui le rendent plus ou moins approprié à son nouvel usage, et confèrent aux objets culturels des traits universels.

# Qu'est-ce que lire?

- Lire consiste à **accéder aux représentations linguistiques par la modalité visuelle**, ce qui requiert:
  - d'apprendre à reconnaître efficacement les lettres et leurs combinaisons (la « forme visuelle des mots »)
  - de créer une interface entre l'écrit et la parole, ce qui nécessite probablement de modifier le codage des sons (développement de la « conscience phonologique »)
- **Deux sens du mot « lire »**
  - Lecture à haute voix: accès à la **prononciation** des mots
  - Lecture silencieuse: accès au **sens** du texte
- On peut donc distinguer, très schématiquement, trois grandes divisions au sein de la lecture des mots:
  - la **reconnaissance visuelle des mots**
  - la voie de **conversion graphème – phonème**
  - l'accès au **lexique** et au **sens des mots et des phrases**

## Plan du cours

- Aujourd'hui: les propriétés essentielles de la **reconnaissance visuelle des mots**: vitesse de traitement et bases cérébrales
- 3 Mai: Vers une physiologie de la lecture
- 10 Mai: L'hypothèse des deux voies de lecture
- 31 Mai: Variabilité culturelle et universalité des mécanismes de la lecture
- 7 Juin: L'apprentissage de la lecture
- 21 Juin: Les mécanismes cérébraux de la dyslexie

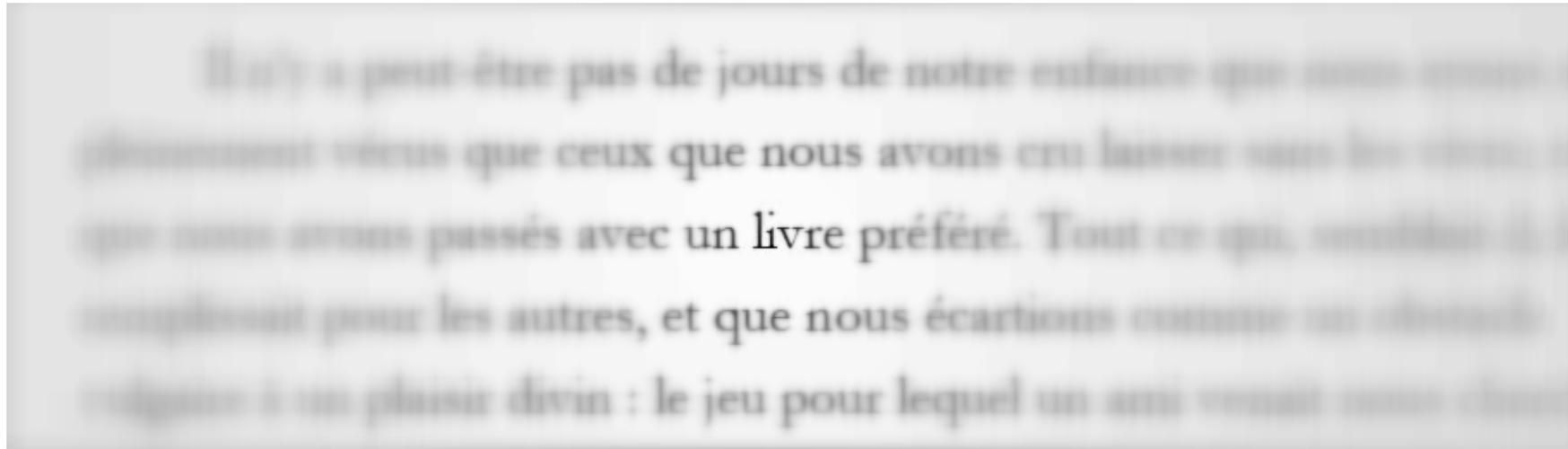
Séminaire: Les troubles de la lecture

## Livres de référence

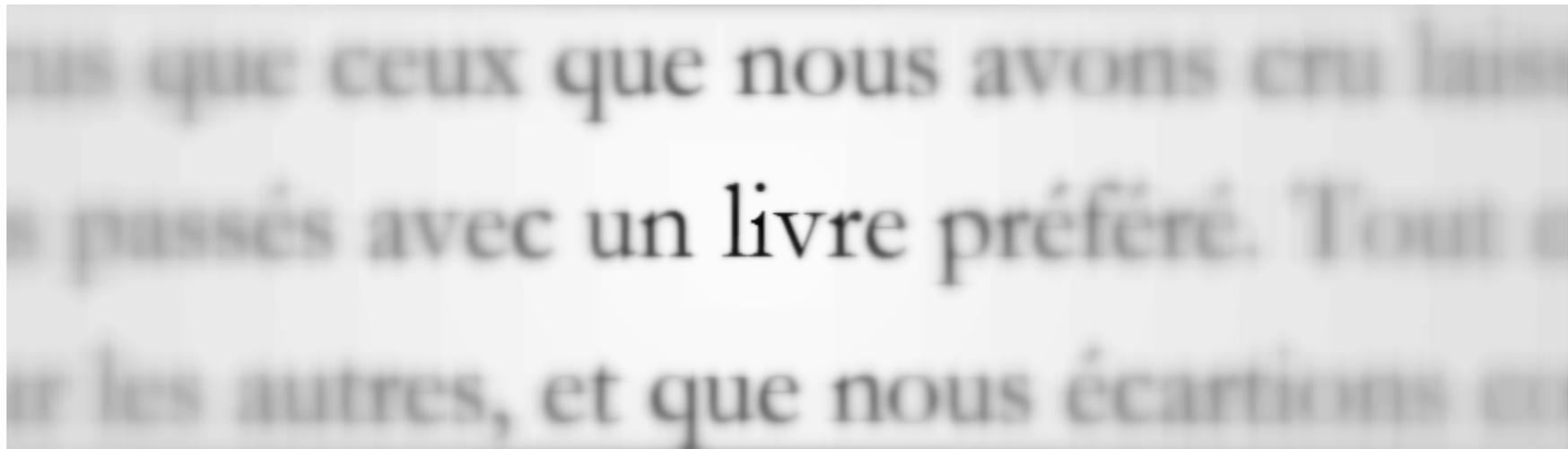
- Ferrand, L. (2001). *Cognition et lecture. Processus de base de la reconnaissance des mots écrits chez l'adulte*. Bruxelles: De Boeck Université.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Snowling, M. J., & Hulme, C. (Eds.). (2005). *The science of reading: A handbook*. Oxford: Blackwell.
- Dehaene, S. *La science de la lecture* (à paraître en Septembre 2007)
- Diapositives disponibles après chaque cours sur le site du Collège de France (<http://www.college-de-france.fr>)

# Les facteurs visuels dans la lecture

## La lecture est étroitement contrainte sur le plan visuel



Il n'est guère utile d'agrandir la police, car la résolution diminue avec l'excentricité. La seule solution consiste donc à déplacer le regard.



# L'information visuelle est acquise presque mot à mot, au cours de brèves périodes de fixation séparées par des saccades

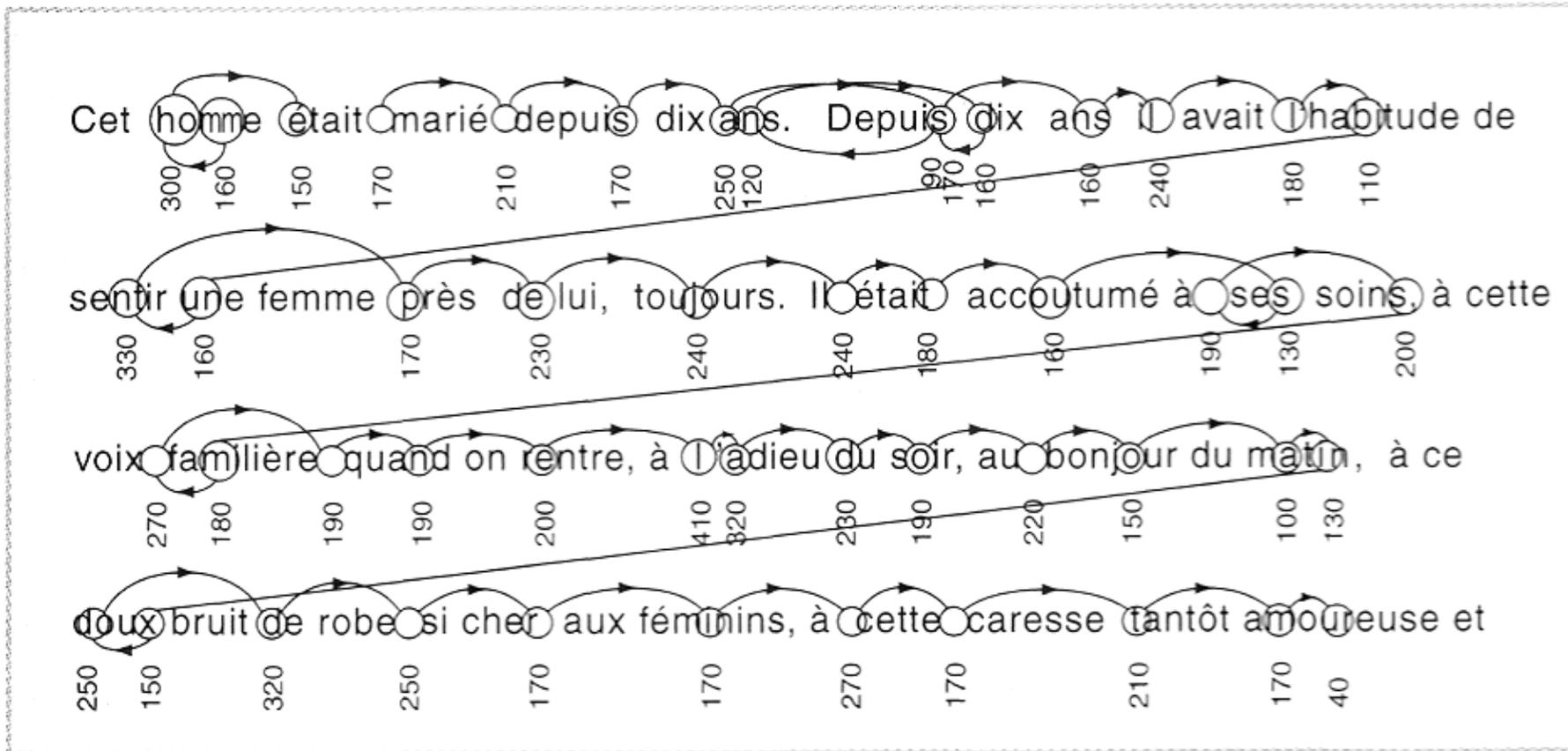


Figure 2.1

Exemples de fixations (cercles), de saccades (flèches progressives) et de régressions (flèches rétroactives) au cours de la lecture d'un texte (d'après O'Regan & Levy-Schoen, 1978). Les valeurs correspondent aux durées des fixations en millisecondes.

# Combien d'information extrayons-nous au cours d'une fixation?

## Le paradigme de la fenêtre mobile de McConkie & Rayner (1975)

Longtemps xx xx xxxx xxxxxx xx xxxxx xxxxx.



xxxxxxxxxs je me suis xxxxxx xx xxxxx xxxxx.



xxxxxxxxxx xx xx xxis couché dx xxxxx xxxxx.



xxxxxxxxxx xx xx xxxx xxxxxx de bonne hxxxx.



xxxxxxxxxx xx xx xxxx xxxxxx xx xxxne heure.



Principaux résultats:

-Le lecteur n'est pas conscient de cette manipulation!

-Avec environ 4 lettres à gauche, et 15 lettres à droite, la vitesse de lecture reste normale.

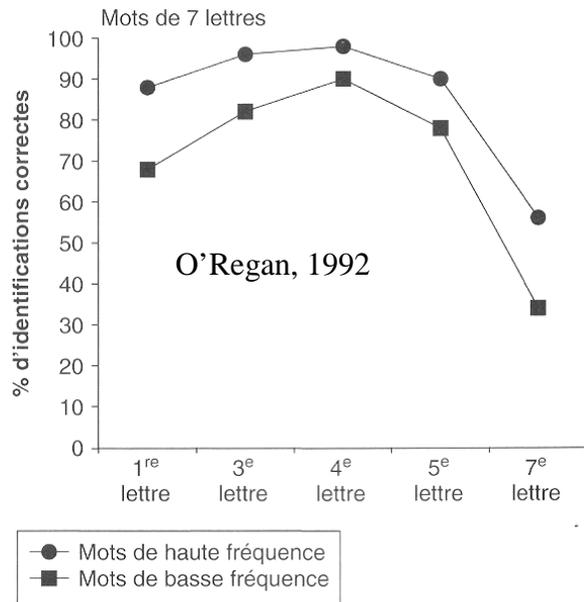
-Seule est extraite l'identité de 3-4 lettres à gauche et 7-8 lettres à droite de la fixation

-L'asymétrie s'inverse en hébreu

-50 ms de temps de présentation suffisent à une lecture normale

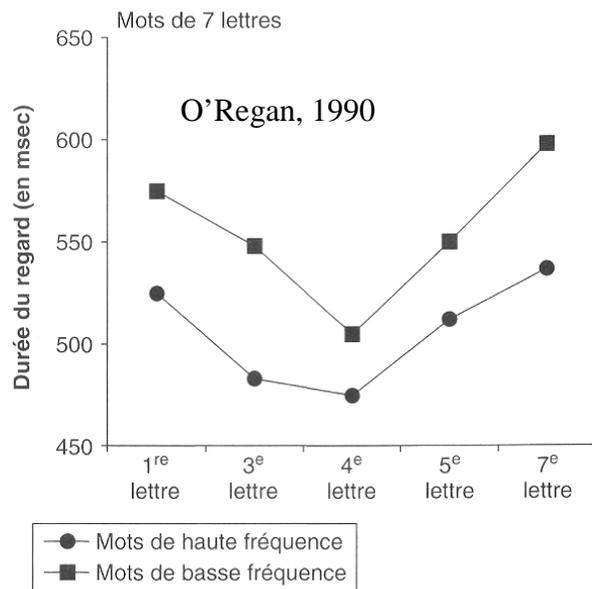
-**Conclusion:** La lecture procède essentiellement mot par mot, même si quelques informations parafovéales semblent extraites du mot suivant.

# Effet de la position du regard dans le mot



- La position optimale du regard est proche du centre du mot
- Cette position minimise l'excentricité moyenne des lettres, donc maximise l'information visuelle disponible
- Différents facteurs modulent cette position optimale:

- la quantité d'information apportée par le début ou par la fin du mot (en général plus grande en début de mot)
- la position où atterrit habituellement le regard au cours de la lecture
- l'accès direct des lettres de droite à l'hémisphère gauche



Ces facteurs contribuent à déplacer la position optimale vers la gauche en français, et la droite en hébreu.

# La nature des processus de reconnaissance des mots

Quelques données comportementales  
fondamentales

# La reconnaissance des lettres d'un mot s'effectue en parallèle

• Bien que les données ne soient pas parfaitement stables d'une étude à l'autre, la plupart s'accordent à conclure que **le nombre de lettres n'influence pratiquement pas le temps de lecture.**

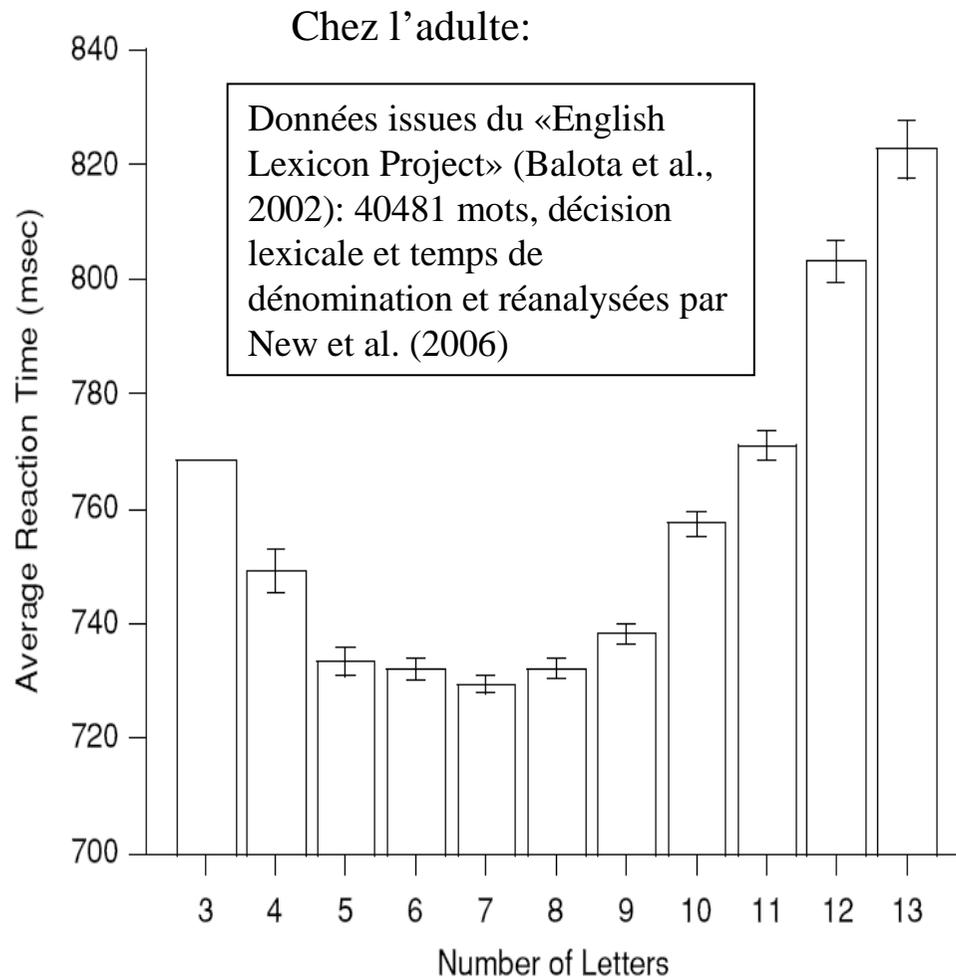
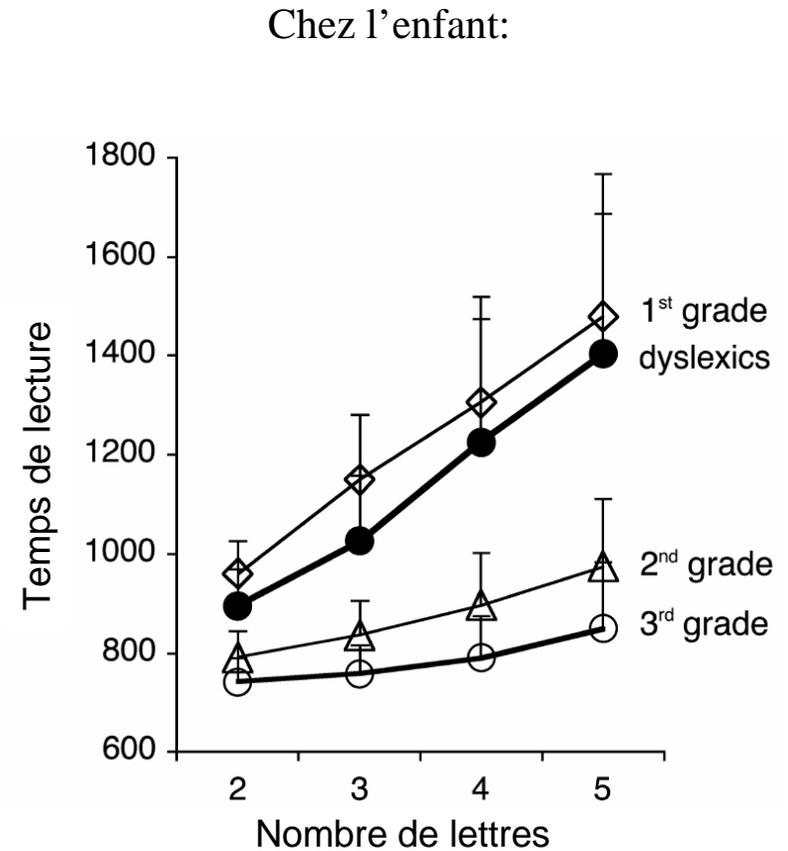


Figure 2. Average reaction time and 95% confidence interval for words with lengths from 3 to 13 letters if length was the only factor having an influence (all other factors have been partialled out).



Noter que l'effet de longueur réapparaît:

-lorsque les mots sont dégradés

-lors de la lecture de pseudo-mots

# Le système visuel exploite les redondances de la chaîne de lettres

(Miller, Bruner et Postman, 1954)

- Création de chaînes de 8 lettres qui constituent des approximations de l'anglais à des ordres variables
  - Ordre 0 = lettres aléatoires et indépendantes
  - Ordre 1 = lettres indépendantes mais respectant les fréquences de l'anglais
  - Ordre 2 (resp. 4) = les paires (resp. les quadrigrammes) respectent les fréquences de l'anglais
- Présentation tachistoscopique à des durées d'exposition variables
- Le sujet doit remplir un tableau de huit cases avec les lettres qu'il croit avoir vu.

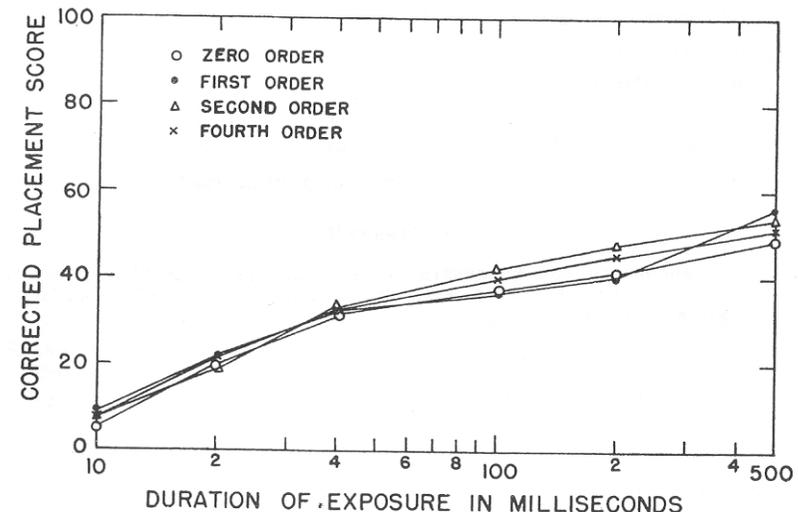
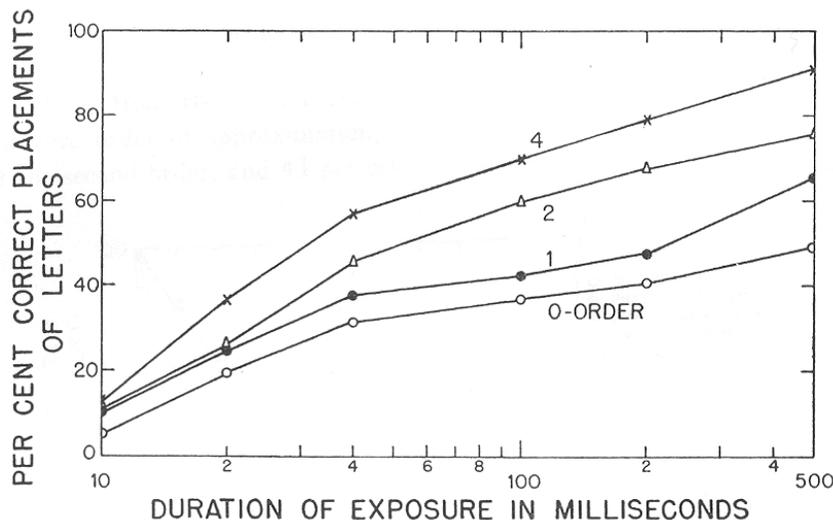
PSEUDO WORDS CONSTRUCTED AT DIFFERENT ORDERS OF APPROXIMATION TO ENGLISH

0-Order	1-Order	2-Order	4-Order
YRULPZOC	STANUGOP	WALLYLOF	RICANING
OZHGPMTJ	VTYEHULO	THERARES	VERNALIT
DLEGQMNW	EINOAAASE	CHEVADNE	MOSSIAN
GFUJXZQA	IYDEWAKN	NERMBLIM	POKERSON
WXP AUJVB	RPITCQET	ONESTEVA	ONETICUL
VQWBVIFX	OMNTOHCH	ACOSUNST	ATEDITOL
CVGJCDHM	DNEHHSNO	SERRRTHE	APHYSTER
MFRSIWZE	RSEMPOIN	ROCEDERT	TERVALLE
EJOYOEVS	ISAAESPW	HEFLINYC	CULATTER
GFXRWMXR	ITYNENEE	EDINGEDL	PREVERAL
BHDTUNQK	OAENSTVT	LIKINERA	FAVORIAL
ANROAHOV	NHIDCFRA	RIPRYPLI	LYMISTIC
HHJHUFWS	YWDNMIIE	UMATSORE	OTATIONS
IJHBWSTT	IODTIRPS	SINEDSIN	INFOREMS
EAPMZCEN	NHGTTEDE	EDESENER	EXPRESPE

# Le système visuel exploite les redondances de la chaîne de lettres

(Miller, Bruner et Postman, 1954)

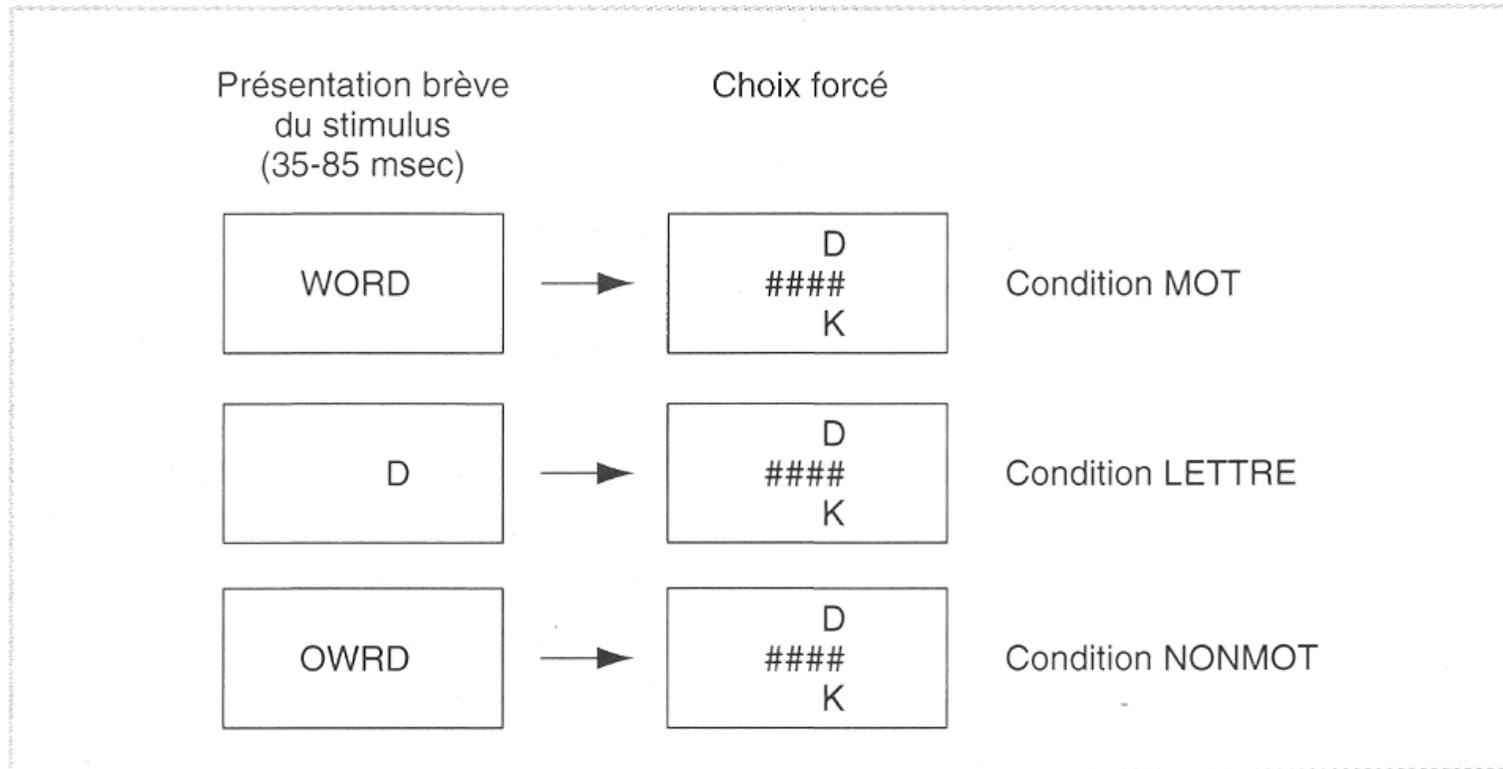
- Les performances s'améliorent avec la durée d'exposition
- Mais elles sont nettement meilleures pour les séquences d'ordre élevé (que la mesure tienne ou non compte du bon positionnement des lettres)
- Le système visuel exploite donc le fait que, dans les séquences d'ordre élevé, les lettres peuvent en partie être prédites par le contexte
- Les scores deviennent superposables une fois multipliés par la quantité d'information par lettre.
- Ainsi, le système visuel extrait une quantité fixe d'information du stimulus. Le reste de l'information est apporté par une connaissance internalisée des régularités orthographiques.



# Le système visuel exploite les redondances de la chaîne de lettres

(Reicher, 1969; Spoehr & Smith, 1975; Rumelhart & McClelland, 1982)

## L'effet de supériorité lexicale



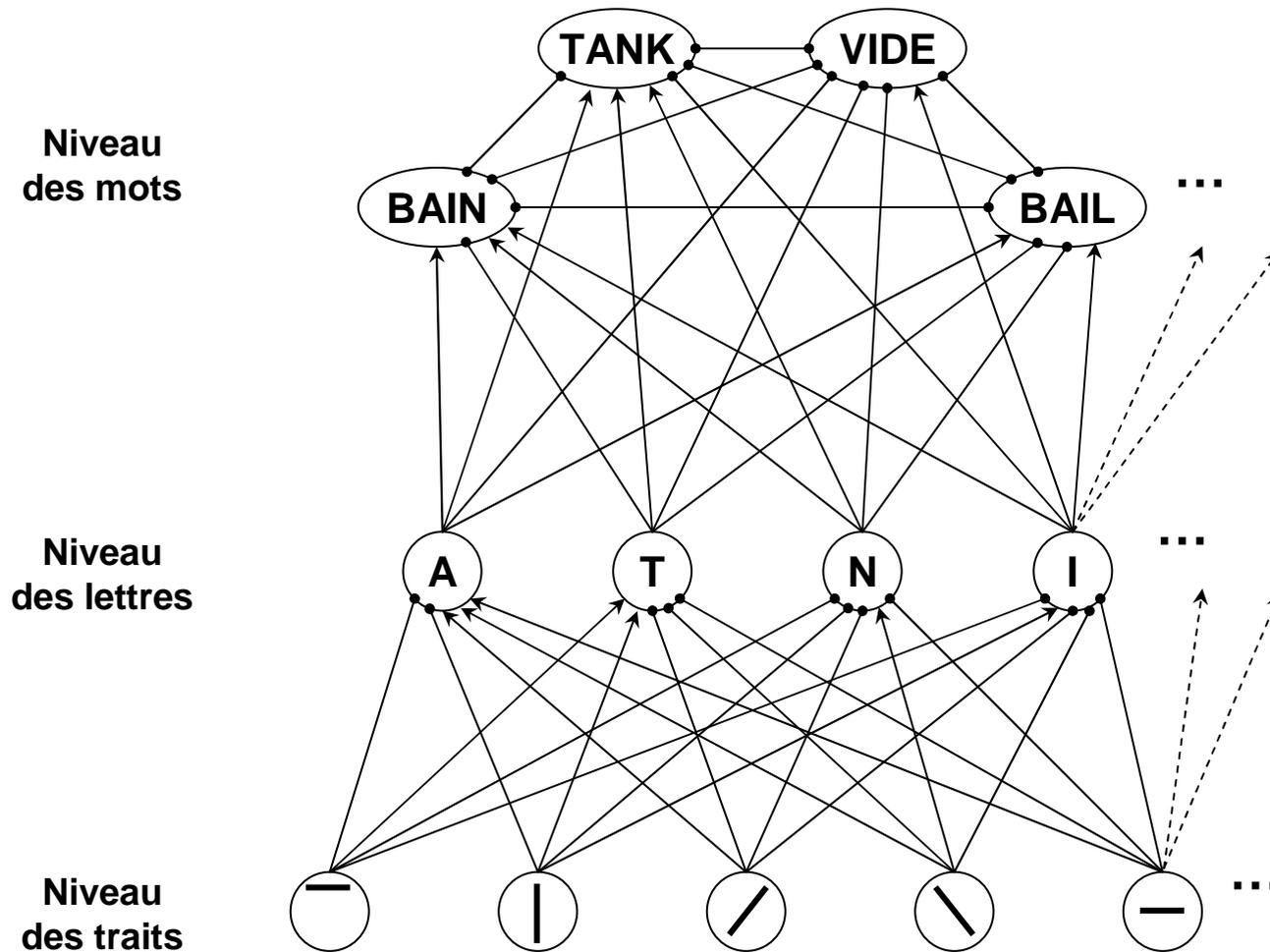
-Résultats: Bien que l'information objective soit la même, la perception des lettres s'améliore dans le contexte d'un mot, ou même d'une chaîne régulière de lettres.

-L'effet s'étend à d'autres conditions:

Néologismes (GORD)

Chaines régulières de consonnes (STND)

L'interprétation de McClelland et Rumelhart (1981; Rumelhart et McClelland, 1982)  
Montée de l'information (bottom-up) et redescente de signaux lexicaux (top-down)  
qui « votent » pour la présence de leurs lettres



Toutefois, une autre interprétation non-interactive est possible dans un modèle strictement «ascendant» (bottom-up): L'incertitude est réduite lorsque la prise de décision se fonde sur des niveaux multiples.

# Quelques autres facteurs déterminant la vitesse de lecture

- **Rôle des unités de lecture:**

- La présence de **graphèmes** complexes (ch, oi, eau) ralentit l'identification
- Les **bigrammes**, les **syllabes** et les **morphèmes** sont également codés

- **Effet de fréquence** d'usage du mot dans la langue:

- Les mots les plus fréquents sont reconnus plus rapidement
- L'effet dépend également de la **familiarité** subjective et de l'**âge d'acquisition**

- **Effets de voisinage** des mots

- On appelle « voisins orthographiques » des mots qui ne diffèrent que d'une lettre (par exemple « chat » et « char »; le mot « drap » n'a pas de voisins).
- Effet de **fréquence de voisinage**: Le traitement d'un mot est généralement ralenti lorsqu'il possède un ou plusieurs voisins de plus haute fréquence (inhibition lexicale)
- Effet du **nombre de voisins**: le traitement d'un mot s'accélère souvent (mais pas toujours) avec le nombre de voisins, particulièrement en décision lexicale rapide.

- **Effets de régularité ou de consistance** de la conversion graphème-phonème

- Il s'agit de la **cohérence** (« consistency ») avec laquelle une lettre ou un groupe de lettre est transcrite en phonèmes (consistance *grapho-phonologique*), et vice-versa (consistance *phono-graphémique*)
- -Le temps de « stabilisation » de la reconnaissance d'une chaîne de lettres se ralentit lorsque les liens qu'elle entretient avec la prononciation sont ambigus

## Niveaux de traitement des mots écrits (d'après Ferrand, 2001)

Niveaux de traitement	Unités de représentations	Exemples
Visuel	Traits visuels	/(\ ^ _ )   n > <
Orthographique et phonologique prélexical	Lettres	A, B, C, D
	Graphèmes	CH, IN, PH
	Phonèmes	/u/, /p/, /l/
	Rimes	-age, -on, -ire
	Syllabes	bal, ba, cra
Orthographique et phonologique lexical	Forme orthographique globale	ROSE
	Forme phonologique globale	/ROZ/
Morphologique	Préfixes	re- (dans « refaire »)
	Suffixes	-ier (dans « potier »)
	Racines	faire, pot
Sémantique	Traits sémantiques	Homme [+ humain] [+ adulte] [+ mâle] [- enfant] [- femelle]