

## LA LECTURE DES NOMBRES DANS L'ALEXIE PURE : EFFETS DE LA TÂCHE ET DE LA SPÉCIALISATION HÉMISPHERIQUE

L. COHEN<sup>1,2</sup>, S. DEHAENE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Service de Neurologie, Hôpital de la Salpêtrière, Paris.

<sup>2</sup> Laboratoire de Sciences Cognitives et Psycholinguistique EHESS, INSERM et CNRS, Paris.

### RÉSUMÉ

La préservation sélective de la lecture des chiffres arabes chez des patients incapables de lire des mots ou même des lettres, est une caractéristique classique de l'alexie pure, déjà décrite par Dejerine (1892). Nous rapportons une étude portant sur les capacités de traitement des nombres chez deux patients souffrant d'une alexie pure typique. Notre principal résultat est que les capacités d'identification des nombres varient de façon importante selon la tâche dans laquelle les patients sont engagés. Ainsi, les patients pouvaient dénommer avec exactitude des paires de chiffres arabes lorsqu'il s'agissait d'une tâche de lecture simple (ex. 2 4 → « deux, quatre ») ou bien d'une tâche de comparaison de grandeur (ex. 2 4 → « deux, quatre, quatre est le plus grand »). En revanche, les patients faisaient de fréquentes erreurs dans l'identification de ces mêmes chiffres lorsqu'il fallait les traiter comme les constituants d'un nombre de 2 chiffres (ex. 2 4 → « vingt quatre », ou comme les opérands d'une addition (ex. 2 4 → « deux et quatre, six »). Avec les nombres de 2 chiffres, une semblable dissociation existait entre une excellente performance en comparaison, et un déficit sévère de la lecture à haute voix. Notre interprétation de ces résultats repose sur l'hypothèse que chacun des hémisphères est capable d'identifier les chiffres arabes, mais que les systèmes visuels droit et gauche sont différemment mis à contribution au cours de différentes tâches. Dans l'alexie pure, une lésion du système d'identification gauche entraîne un déficit sélectif dans les tâches de nature linguistique comme la lecture à haute voix de nombres de plusieurs chiffres ou l'arithmétique mentale. Le système d'identification hémisphérique droit, intact, est suffisant lors de la comparaison, ou de la lecture de chiffres arabes isolés.

### *Reading numbers in pure alexia : effects of the task and hemispheric specialization.*

L. COHEN, S. DEHAENE. *Rev. Neurol. (Paris)*, 1995, 151 : 8-9, 480-485.

### SUMMARY

Selective conservation of the ability to read Arabic numbers in patients unable to read words or even letters is a classical characteristic of pure alexia described by Dejerine (1892). We report our work on the capacity of two patients with pure typical alexia to process numbers. Our main finding was that these patients could count pairs of Arabic numbers correctly when the reading task was simple (example 2 4 → « two four ») or when the task involved comparing sizes (example 2 4 → « four is bigger than two »). Inversely, these patients often made mistakes when asked to perform arithmetic operations (example 2 4 → « two plus four equals six »). Using these two numbers, there was a similar dissociation between excellent performance on comparison tests and severe deficiency in reading out loud. We interpret these findings with the hypothesis that both of the hemispheres can identify Arabic numbers, but that the visual systems on the right and left play a different role during different tasks. In pure alexia, a lesion in the left identification system leads to selective deficiency in linguistic tasks such as reading numbers out loud, recognizing numbers with several figures or mental arithmetic. The right identification system is intact and is sufficient for comparison or reading isolated Arabic numbers.

### INTRODUCTION

Depuis la description de l'alexie pure par Dejerine (1892), une relative préservation de la lecture des chiffres arabes par rapport aux caractères alphabétiques a souvent

été rapportée dans ce syndrome (Holender et Peereboom, 1987). Bien que des tentatives d'explication aient été avancées (Alajouanine *et al.*, 1960 ; Geschwind, 1965a), cette particularité n'a jamais fait l'objet d'attention particulière. Dans cette étude, nous avons cherché à analyser le statut particulier des chiffres arabes dans l'alexie pure, et à

Tirés à part : Dr Laurent COHEN, Service de Neurologie, Clinique Paul Castaigne, Hôpital de la Salpêtrière, 47, bd de l'Hôpital, 75651 Paris Cedex 13, France.

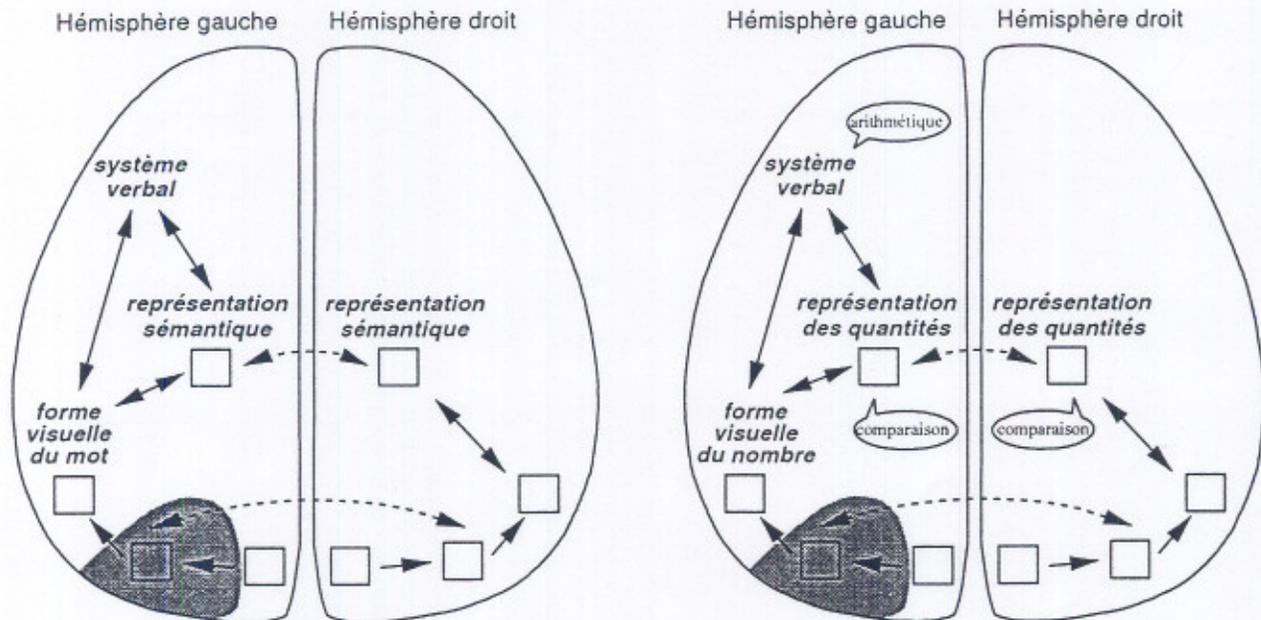


FIG. 1. — A (gauche) : Modèle anatomo-fonctionnel de la lecture, incluant une voie de lecture indirecte hémisphérique droite. La région grisée symbolise une lésion empêchant la formation de la « forme visuelle du mot », et entraînant donc une alexie pure.

B (droite) : Modèle anatomo-fonctionnel des processus numériques. Dans l'alexie pure, la « forme visuelle du nombre » n'est plus fonctionnelle, entraînant de nombreuses erreurs dans les tâches hémisphériques gauches (arithmétique et lecture de nombres de plusieurs chiffres). L'hémisphère droit, intact, est suffisant pour la comparaison de nombres, ainsi que pour la dénomination de chiffres simples via un transfert interhémisphérique.

en tirer des conséquences plus générales concernant les processus cérébraux de lecture et de manipulation des nombres.

La première étape de la lecture d'un mot est la construction, par le système visuel, d'une représentation de la suite de caractères propre à déclencher tous les processus linguistiques ultérieurs (accès au lexique, transformation des graphèmes en phonèmes, etc.). Cette représentation, ou « forme visuelle du mot » (Warrington et Shallice, 1980), spécifie l'identité et la position relative des lettres et groupes de lettres qui composent le stimulus. Dans l'alexie pure, le système visuel est incapable de créer cette « forme visuelle du mot », empêchant donc en principe tout traitement linguistique du stimulus. La topographie des lésions responsables d'une alexie pure (Binder et Mohr, 1992), ainsi que des données d'activation cérébrale chez le sujet normal (Petersen *et al.*, 1990), suggèrent que la région où se constitue la « forme visuelle du mot » appartient au cortex occipito-temporal interne gauche. L'alexie pure peut donc résulter de la destruction ou de la désafférentation visuelle de cette région.

Ce schéma simple conduit à prédire, dans l'alexie pure, un déficit d'identification également sévère quelle que soit

la tâche expérimentale considérée, et quel que soit le type de stimulus (mot réel ou non-mot, mot fréquent ou rare, concret ou abstrait, etc.). Toutefois, cette situation se trouve compliquée par l'existence de capacités de lecture résiduelle chez ces patients. Certains au moins de ces patients peuvent en effet montrer de bonnes performances dans des tâches demandant une lecture implicite mais non explicite des mots. C'est le cas en particulier des tâches de décision lexicale ou de classification sémantique, avec des stimuli présentés très brièvement, et que le patient ne souvent avoir reconnus ou même vue (Grüsser et Landis, 1991 ; Coslett *et al.*, 1993).

Une des propositions les plus intéressantes concernant l'origine de ces capacités résiduelles postule qu'elles résultent de l'activité d'un second système de reconnaissance des mots, localisé dans l'hémisphère droit (*fig. 1A*). Le lexique de l'hémisphère droit semble toutefois limité à des mots concrets et fréquents (Shallice et Saffran, 1986 ; Coslett et Saffran, 1989 ; Grüsser et Landis, 1991 ; Coslett *et al.*, 1993). L'hypothèse de l'existence d'un tel système est soutenue par des données obtenues chez des patients commissurotomisés (Gazzaniga et Hillyard, 1971 ; Zaidel et Peters, 1981), hémisphérectomisés (Patterson *et al.*,

1989), souffrant de lésions gauches étendues (Coltheart, 1980; Cohen *et al.*, 1994), ainsi que chez des sujets normaux (Eviatar *et al.*, 1990; Hines, 1977).

Le système hémisphérique droit de reconnaissance des mots ne peut toutefois se substituer au système gauche lésé que pour l'exécution d'un nombre limité de tâches. Ainsi, l'incapacité des patients à lire à haute voix des combinaisons de caractères montre bien que seul le système visuel gauche peut alimenter les processus phonologiques et articulatoires. En revanche, au moins dans la limite de son vocabulaire réduit, le système de reconnaissance de mots de l'hémisphère droit est suffisant pour des tâches de décision lexicale ou de classement sémantique. Quant à la dénomination des objets, des lettres ou des chiffres isolés, souvent intacte, elle reposerait sur une collaboration des hémisphères. L'identification serait assurée par l'hémisphère droit, et suivie du transfert via le corps calleux d'informations sémantiques suffisantes pour spécifier sans ambiguïté à l'hémisphère gauche l'identité de la chose à dénommer (Coslett *et al.*, 1993).

La lecture des nombres arabes est largement similaire à la lecture des mots (*fig. 1B*), et les difficultés qu'ont les patients souffrant d'alexie pure à lire les nombres de plusieurs chiffres résultent probablement du défaut de formation de la « forme visuelle du mot », ou plutôt de son équivalent numérique, la « forme visuelle du nombre » (Cohen et Dehaene, 1991). Nous proposons de généraliser aux nombres arabes l'hypothèse formulée plus haut, selon laquelle la lecture résiduelle chez les alexiques purs reflèterait les capacités de reconnaissance de l'hémisphère droit.

Selon cette hypothèse, de quels facteurs devrait dépendre la performance des patients lors d'une tâche numérique? Bien entendu, toutes les tâches sans entrée visuelle devraient être réalisées normalement. Quant aux tâches visuelles, celles qui ne requièrent que l'hémisphère droit devraient être bien réalisées, mais celles exigeant les capacités d'identification hémisphériques gauches devraient être déficitaires. Dans chacune des expériences décrites ci-dessous, nous comparerons les performances de patients souffrant d'alexie pure dans deux tâches employant des stimuli identiques, mais impliquant différentes contributions hémisphériques. Nous présentons ici un choix représentatif des données obtenues au cours d'une étude rapportée par ailleurs de façon plus détaillée (Cohen et Dehaene, 1995).

## OBSERVATIONS

Le premier patient était un homme âgé de 71 ans, technicien en radio et télévision retraité, droitier. Le second patient était un homme âgé de 77 ans, diplomate retraité, droitier. Tous deux furent victimes d'un infarctus dans le territoire superficiel de l'artère cérébrale postérieure gauche (*fig. 2*). Cette étude fut réalisée un mois après les accidents vasculaires. Les patients présentaient alors une alexie pure et une hémianopsie latérale homonyme droite. De plus, du fait d'un infarctus thalamique

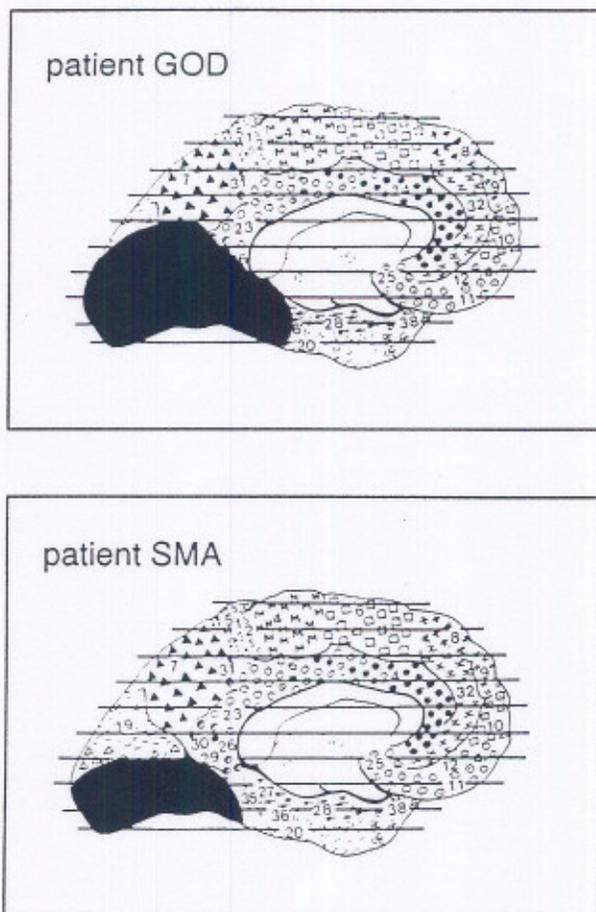


FIG. 2. — Lésions occipito-temporales inféro-médianes de l'hémisphère gauche des patients 1 (GOD) et 2 (SMA).

gauche associé, le patient 2 présentait également une hémiparésie droite et un trouble mnésique prédominant dans le domaine verbal.

Les performances des 2 patients étaient sensiblement normales dans tous les tests de la Boston Diagnostic Aphasia Examination n'impliquant pas la lecture. Le *tableau 1* présente les résultats d'une épreuve supplémentaire comprenant la lecture de 30 mots longs de 3 à 9 lettres, des 26 lettres de l'alphabet, ainsi que l'écriture sous la dictée de la même liste de 30 mots. La lecture de mots était virtuellement nulle, la lecture de lettres isolées moyenne, et l'écriture normale.

Afin d'établir si la lecture et l'écriture des nombres arabes étaient affectées de la même manière que celles de caractères alphabétiques, nous avons demandé aux patients de lire 70 chiffres simples et 46 nombres de 2 à 4 chiffres, ainsi que d'écrire sous la dictée 20 nombres de 2 à 4 chiffres. Comme le montre le *tableau 1*, caractères alphabétiques et numériques semblaient affectés de façon similaire: l'écriture était intacte, contrastant avec un sévère déficit de lecture touchant particulièrement les nombres de plusieurs chiffres. La quasi totalité des erreurs consistaient en substitutions de chiffres. Autrement dit, dans près de 95 p. 100

TABLEAU I. — Taux d'erreurs (%) en lecture et en dictée de mots, de lettres, et de nombres arabes.

Patient	1		2	
Écriture sous la dictée				
	mots	0/30 (0,0)	0/30 (0,0)	(0,0)
nombres de plusieurs chiffres	0/20 (0,0)	0/20 (0,0)		
Lecture à haute voix				
	mots	29/30 (96,7)	28/30 (93,3)	
	nombre de plusieurs chiffres	37/46 (80,4)	31/46 (67,4)	
	lettres	11/26 (42,3)	11/26 (42,3)	
chiffres	6/70 (8,6)	13/70 (18,6)		

des erreurs, les réponses comprenaient le même nombre de chiffres que la cible (ex. 504 lu « sept cent six »). Notons que les taux d'erreurs avec les chiffres isolés étaient significativement plus bas qu'avec les lettres isolées, fait fréquemment observé dans l'alexie pure (patient 1 : 8,6 p. 100 contre 42,3 p. 100,  $\chi^2(1) = 12,58$ ,  $p = 0,00039$ ; patient 2 : 18,6 p. 100 contre 42,3 p. 100,  $\chi^2(1) = 5,70$ ,  $p = 0,017$ ).

Point essentiel, il existait une différence importante entre le taux d'erreurs par chiffre selon que les patients lisaient des chiffres isolés ou bien inclus dans des nombres de plusieurs chiffres (patient 1 : 8,6 p. 100 contre 46,8 p. 100,  $\chi^2(1) = 29,71$ ,  $p < 10^{-4}$ ; patient 2 : 18,6 p. 100 contre 34,4 p. 100,  $\chi^2(1) = 5,47$ ,  $p = 0,019$ ). Quel que soit le système responsable de l'assez bonne identification des chiffres isolés, ce système devenait visiblement inopérant lorsqu'il s'agissait de lire des nombres complexes.

## LECTURE DE PAIRES DE CHIFFRES

Notre hypothèse de travail fournit une explication naturelle de cette dernière observation. L'assemblage de la séquence complexe de mots correspondant à un nombre de plusieurs chiffres est un processus linguistique hémisphérique gauche, qui doit nécessairement être alimenté par le système visuel gauche, lésé, et ne peut se contenter d'informations provenant indirectement du système visuel hémisphérique droit, intact. En revanche, la dénomination d'un simple chiffre pourrait se faire par les mêmes voies que la dénomination d'une forme ou d'un objet quelconques, tâche aisée pour les patients alexiques.

Il est toutefois possible que la différence de performance en lecture entre nombres et chiffres simples soit uniquement due à la différence de complexité visuelle des deux types de stimuli et non à la différence de structure des tâches (Patterson et Kay, 1982; Farah et Wallace, 1991). Afin de réfuter cette hypothèse, nous avons présenté aux patients des paires de 2 chiffres différents, en leur demandant de lire chaque paire soit comme deux chiffres indépendants (ex. 2 4 → « deux, quatre »), soit comme un seul nombre de 2 chiffres (ex. 2 4 → « vingt quatre »).

## RÉSULTATS

Les taux d'erreurs par chiffre étaient significativement plus hauts dans la condition « vingt quatre » que dans la condition « deux, quatre » (patient 1 : 18/40 chiffres [45,0 p. 100] contre 3/40 chiffres [7,5 p. 100],  $\chi^2(1) = 14,53$ ,  $p = 0,00014$ ; patient 2 : 21/40 chiffres [52,5 p. 100] contre 7/40 chiffres [17,5 p. 100],  $\chi^2(1) = 10,77$ ,  $p = 0,0010$ ).

## COMMENTAIRES

La complexité visuelle des stimuli étant ici identique entre chiffres et nombres, le fait que les erreurs fussent beaucoup plus fréquentes lors de la lecture de nombres que de chiffres isolés ne pouvait résulter que de la différence entre les tâches. Nous suggérons que les processus linguistiques hémisphériques gauches spécifiquement impliqués dans la lecture de nombres de plusieurs chiffres mettent nécessairement en jeu le système visuel gauche, lésé chez ces patients.

## ADDITION ET COMPARAISON DE CHIFFRES

Afin d'explorer plus avant l'hypothèse selon laquelle la performance dans des tâches visuelles dépend de l'implication des deux hémisphères, nous avons comparé la tâche d'addition et la tâche de comparaison. Des travaux portant sur des patients commissurotomisés ont clairement démontré qu'un hémisphère droit isolé est capable de décider lequel de deux chiffres représente la plus grande quantité (Seymour *et al.*, 1994), alors qu'il est incapable de résoudre des calculs arithmétiques simples (Gazzaniga et Smylie, 1984). Par contre, ces deux tâches sont aisées pour un hémisphère gauche isolé. Conformément à cette idée, des patients souffrant de lésions gauches étendues peuvent comparer des nombres de 1 ou 2 chiffres, alors même qu'ils ne peuvent résoudre presque aucun problème arithmétique (Grafman *et al.*, 1989; Dehaene et Cohen, 1991).

Nous avons donc présenté aux patients des paires de 2 chiffres arabes différents, en leur demandant de lire les 2 chiffres à haute voix, puis soit de nommer et de désigner le plus grand (tâche de comparaison), soit de produire verbalement la somme (tâche d'addition). Selon notre hypothèse, la performance devrait être meilleure lors de la comparaison, qui peut être faite par un hémisphère droit isolé, que lors de l'addition, qui repose sur l'hémisphère gauche.

## RÉSULTATS

Dans la tâche de comparaison, les patients ne firent aucune erreur dans la désignation du chiffre le plus grand

(patient 1 : 0/20 paires ; patient 2 : 0/40 paires). Par contre, dans la tâche d'addition, ils produisirent souvent une somme incorrecte (patient 1 : 15/20 paires (75,0 p. 100) ; patient 2 : 21/40 paires (52,5 p. 100)). Cette différence ne résultait toutefois pas d'erreurs dans le calcul des sommes, mais uniquement d'erreurs dans l'identification des chiffres au cours de la tâche d'addition. En effet, au cours de la tâche de comparaison, le patient 1 ne fit que 4 erreurs de lecture sur 40 chiffres (10,0 p. 100) et le patient 2 12 erreurs sur 80 chiffres (15,0 p. 100), alors que les taux d'erreurs étaient significativement plus élevés lors de la lecture de ces mêmes paires de chiffres au cours de la tâche d'addition (patient 1 : 18/40 chiffres [45,0 p. 100],  $\chi^2(1) = 12,29$ ,  $p = 0,00046$  ; patient 2 : 25/80 chiffres [31,2 p. 100],  $\chi^2(1) = 5,94$ ,  $p = 0,015$ ). Les patients produisaient ensuite toujours la somme exacte compte tenu de leurs erreurs de lecture (ex.  $2 + 4 \rightarrow$  « quatre et six, dix »). Il est d'ailleurs à noter que dans une tâche d'addition sur présentation orale, les patients ne faisaient virtuellement aucune erreur.

## COMMENTAIRES

Ces résultats confirment donc que les patients n'utilisaient pas les mêmes procédures d'identification des chiffres selon qu'ils réalisaient une addition ou une comparaison. Plus précisément, nous suggérons que le système visuel hémisphérique droit est incapable d'alimenter correctement les processus arithmétiques, dont le siège est dans l'hémisphère gauche.

## LECTURE ET COMPARAISON DE NOMBRES

Nous avons enfin cherché à déterminer si ce type d'effets concernait également les nombres de plusieurs chiffres. Chez des patients présentant des lésions gauches très étendues, la comparaison de nombres de 2 chiffres est souvent excellente alors que la lecture à haute voix de ces mêmes nombres est déficiente (Grafman *et al.*, 1989 ; Cohen et Dehaene, 1991 ; Cohen *et al.*, 1994 ; Dehaene et Cohen, 1991), suggérant que l'hémisphère droit peut à lui seul réaliser la comparaison, alors que l'hémisphère gauche est indispensable pour former la complexe suite de mots d'une dénomination correcte. Si tel est le cas, l'alexie pure devrait altérer la lecture, mais non la comparaison.

Afin d'évaluer cette hypothèse, nous avons donc présenté aux patients des paires de nombres de 2 chiffres, en leur demandant soit de désigner silencieusement le plus grand nombre de chaque paire, soit de lire les deux nombres à haute voix.

## RÉSULTATS

La tâche de comparaison était extrêmement facile, puisqu'aucun des deux patients ne fit la moindre erreur sur 44 paires. En revanche, les erreurs de lecture affectaient environ 90 p. 100 des paires, ou encore 70 p. 100 des nombres. Il est important de noter qu'une certaine proportion de ces erreurs entraînait une inversion de la taille relative des deux nombres (ex.  $78 + 76 \rightarrow$  « soixante dix-huit, soixante dix-neuf »), mais que les patients ne faisaient toutefois aucune erreur lors de la comparaison muette.

## COMMENTAIRES

Le contraste entre les tâches de lecture et de comparaison illustre de façon frappante l'influence de l'implication des deux hémisphères sur l'identification des stimuli numériques. Au cours d'une tâche de comparaison, que l'hémisphère droit peut réaliser seul, l'identification des nombres est préservée. En revanche, de nombreuses erreurs marquent la lecture à haute voix, du fait que l'hémisphère gauche ne peut identifier ces mêmes stimuli.

## DISCUSSION GÉNÉRALE

Chez deux patients souffrant d'alexie pure, nous avons montré que le niveau de reconnaissance des chiffres arabes dépendait fortement de la tâche en cours. La performance était meilleure lors de la lecture de chiffres simples que de nombres, lors de la comparaison que de l'addition de chiffres, et lors de la comparaison que de la lecture de nombres de deux chiffres.

L'interprétation que nous proposons repose sur l'hypothèse que les deux hémisphères sont capables d'identifier les chiffres, mais que cette capacité se trouve mise en jeu de façon différente selon la tâche (*fig. 1B*). Chez les patients, le système d'identification hémisphérique gauche était lésé, entraînant de nombreuses erreurs dans les tâches de nature linguistique, telles que la lecture à haute voix de nombres de plusieurs chiffres et les calculs arithmétiques. Le système hémisphérique droit, intact, suffisait lors des tâches de comparaison, ainsi que lors de la dénomination de chiffres isolés.

Cette hypothèse n'est en fait qu'un cas particulier d'une interprétation s'appliquant à une variété de phénomènes dépassant largement le domaine des nombres. Comme nous l'avons rappelé dans l'introduction, le contraste entre tâches de lecture explicite et implicite dans l'alexie pure révèle une influence similaire de la tâche sur l'identification visuelle des mots (Coslett *et al.*, 1993). De même, des patients souffrant d'aphasie optique peuvent accéder à différentes informations concernant des couleurs ou des objets qu'ils ne peuvent dénommer ni décrire sur présenta-

tion visuelle (Lhermitte et Beauvois, 1973 ; Coslett et Saffran, 1989). Ces différents types de patients peuvent être caractérisés par un déficit sélectif de dénomination sur présentation visuelle, alors même qu'une identification correcte peut être démontrée dans des tâches non verbales. Dans tous ces cas, on peut suggérer que le système verbal de l'hémisphère gauche ne reçoit pas ses afférences normales en provenance des régions du système visuel spécialisées dans la reconnaissance des mots, des objets, des couleurs. La dénomination de ces stimuli est donc déficiente. Ceci résulte habituellement d'une lésion des aires visuelles gauches, associée à une déconnexion interhémisphérique postérieure. Par ailleurs, le système visuel hémisphérique droit, intact, reste capable d'identifier certains stimuli visuels, assurant aux patients diverses capacités résiduelles.

Enfin, comment expliquer les variations importantes dans l'identification des chiffres selon la tâche ? Plus particulièrement, pourquoi les patients n'utilisaient-ils pas leurs capacités de lecture hémisphériques droites pour suppléer à leur déficit au cours de la tâche d'addition ? Il est probable que lorsqu'un sujet est engagé dans une tâche cognitive donnée, un ensemble particulier de circuits cérébraux sont sélectionnés. Les données d'activation cérébrale chez les sujets normaux montrent que des changements de tâche entraînent des réorganisations majeures des régions cérébrales activées, même lorsque les stimuli demeurent identiques (ex. Corbetta *et al.*, 1990 ; Posner et Raichle, 1994).

Dans le cas particulier des nombres, nous avons observé des différences de débit sanguin régional entre des tâches de multiplication et de comparaison de paires de chiffres arabes. De telles réorganisations, induites par la tâche employée, peuvent concerner la lecture des chiffres arabes. Ainsi, le réseau cortical impliqué dans la résolution des additions ne comprend probablement que des structures hémisphériques gauches, dont le système de la « forme visuelle du nombre », lésé chez les patients alexiques. Lors d'une tâche d'addition, les patients ne sont donc pas induits à une exploitation optimale de leur système de lecture hémisphérique droit. Par contre, la comparaison de nombres peut être effectuée par chacun des hémisphères, et repose sur un ensemble de régions postérieures responsables de l'identification visuelle et du traitement des quantités. Dans ce cas, des ressources attentionnelles sont allouées à l'hémisphère droit, qui peut donc contribuer efficacement au processus de lecture.

## RÉFÉRENCES

- ALAJOUANINE T., LHERMITTE F., DE RIBAUCCOURT-DUCARNE B. (1960). Les alexies agnosiques et aphasiques. In : Alajouanine T. (éd.), Les grandes activités du lobe occipital, pp. 235-260, Masson, Paris.
- BINDER J.R., MOHR J.P. (1992). — The topography of callosal reading pathways: A case control analysis. *Brain*, 115: 1807-1826.
- COHEN L., DEHAENE S., VERSTICHEL P. (1994). Number words and number non-words: A case of deep dyslexia extending to arabic numerals. *Brain*, 117: 267-279.
- COHEN L., DEHAENE S. (1991). Neglect dyslexia for numbers? A case report. *Cog Neuropsychol*, 8: 39-58.
- COHEN L., DEHAENE S. (1995). Number processing in pure alexia: The effect of hemispheric asymmetries and task demands. *Neurocase*, sous presse.
- COLTHEART M. (1980). Deep dyslexia: A right-hemisphere hypothesis. In : Coltheart M., Patterson K.E., Marshall J.C. (eds.), Deep dyslexia, pp. 326-380, Routledge, London.
- CORBETTA M., MIEZIN F.M., DOBMEYER S., SHULMAN G.L., PETERSEN S.E. (1990). Attentional modulation of neural processing for shape, color, and velocity in humans. *Science*, 248: 1556-1559.
- COSLETT H.B., SAFFRAN E.M. (1989). Preserved object recognition and reading comprehension in optic aphasia. *Brain*, 112: 1091-1110.
- COSLETT H.B., SAFFRAN E.M., GREENBAUM S., SCHWARTZ H. (1993). Reading in pure alexia: The effect of strategy. *Brain*, 116: 21-37.
- DEHAENE S., COHEN L. (1991). Two mental calculation systems: A case study of severe acalculia with preserved approximation. *Neuropsychologia*, 29: 1045-1074.
- DEJERINE J. (1892). Contribution à l'étude anatomo-pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale. *C R Seanc Soc Biol*, 4: 61-90.
- EVITAR Z., MENN L., ZAIDEL E. (1990). Concreteness: Nouns, verbs and hemispheres. *Cortex*, 26: 611-624.
- FARAH M.J., WALLACE M.A. (1991). Pure alexia as a visual impairment: A reconsideration. *Cog Neuropsychol*, 8: 313-334.
- GAZZANIGA M.S., HILLYARD S.A. (1971). Language and speech capacity of the right hemisphere. *Neuropsychologia*, 9: 273-280.
- GAZZANIGA M.S., SMYLLIE C.S. (1984). Dissociation of language and cognition: A psychological profile of two disconnected right hemispheres. *Brain*, 107: 145-153.
- GESCHWIND N. (1965). Disconnexion syndromes in animals and man: Part I. *Brain*, 88: 237-294.
- GRAFMAN J., KAMPEN D., ROSENBERG J., SALAZAR A., BOLLER F. (1989). Calculation abilities in a patient with a virtual left hemispherectomy. *Behav Neurol*, 2: 183-194.
- GRÜSSER O.J., LANDIS T. (1991). Lost letters: Pure alexia. In : Visual agnosias and other disturbances of visual perception and cognition. Chapitre 18, pp. 333-358. Macmillan Press, London.
- HINES D. (1977). Differences in tachistoscopic recognition between abstract and concrete words as a function of visual half-field and frequency. *Cortex*, 13: 66-73.
- HOLENDER D., PEEREMAN R. (1987). Differential processing of phonographic and logographic single-digit numbers by the two hemispheres. In : Deloche G., Seron X. (eds.), Mathematical Disabilities: A cognitive neuropsychological perspective, pp. 43-85. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale.
- LHERMITTE F., BEAUVOIS M.F. (1973). A visual-speech disconnection syndrome: Report of case with optic aphasia, agnosic alexia and colour agnosia. *Brain*, 96: 695-714.
- PATTERSON K., KAY J. (1982). Letter-by-letter reading: Psychological descriptions of a neurological syndrome. *Quart J Exp Psychol*, 34A: 411-441.
- PATTERSON K., VARGHA-KHADEM F., POLKEY C.E. (1989). Reading with one hemisphere. *Brain*, 112: 39-63.
- PETERSEN S.E., FOX P.T., SNYDER A.Z., RAICHLER M.E. (1990). Activation of extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word-like stimuli. *Science*, 249: 1041-1044.
- POSNER M.I., RAICHLER M.E. (1994). Images of mind. New York: Scientific American Library.
- SEYMOUR S.E., RUTTER-LORENZ P.A., GAZZANIGA M.S. (1994). The disconnection syndrome: Basic findings reaffirmed. *Brain*, 117: 105-115.
- SHALLICE T., SAFFRAN E.M. (1986). Lexical processing in the absence of explicit word identification: Evidence from a letter-by-letter reader. *Cog Neuropsychol*, 3: 429-458.
- WARRINGTON E.K., SHALLICE T. (1980). Word-form dyslexia. *Brain*, 103: 99-112.
- ZAIDEL E., PETERS A.M. (1981). Phonological encoding and ideographic reading by the disconnected right hemisphere: Two case studies. *Brain Lang*, 14: 205-234.