

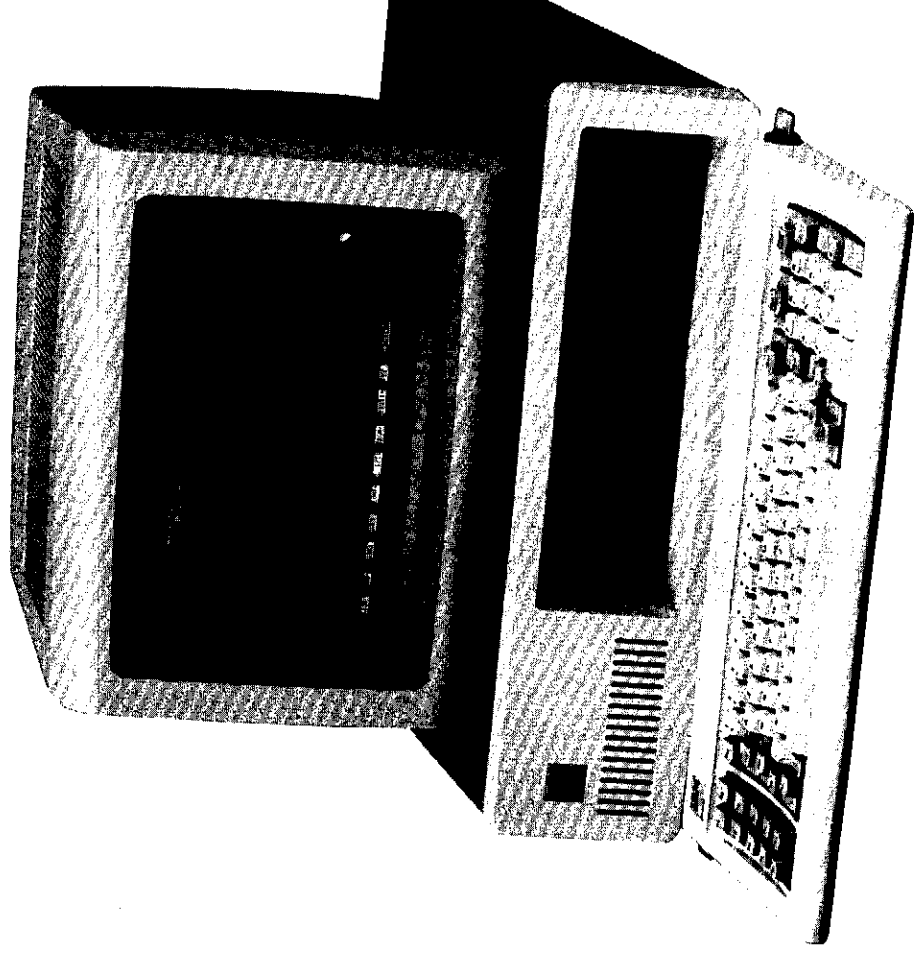
La Lexique Interne



Micro Informatique Diffusion

Ouvert tous les jours sauf le dimanche
de 9 h à 12 h et de 14 h à 19 h
Stations de Métro Parmentier ou Saint-Maur

1983 : l'année de l'ordinateur personnel IBM



Après une année de distribution couronnée de succès aux ETATS-UNIS, il était normal que le "petit" IBM soit disponible sur le marché français. Il fallait pour cela franchir la machine, les logiciels et les matériels. Et ces transformations ont fait que l'"IBM PERSONAL COMPUTER" est devenu l'"ORDINATEUR PERSONNEL IBM".

Il était également normal que MID prenne part en tant que Distributeur Agréé Ordinateur Personnel IBM, à l'événement que constitue l'arrivée du plus gros constructeur mondial d'ordinateurs dans le marché de la micro-informatique.



Micro Informatique Diffusion

MID - PARIS 51 BIS, AVENUE DE LA RÉPUBLIQUE, 75011 PARIS - TÉL. 16 (1) 357.83.20 +
MID - LYON 152, RUE DUGUESCLIN, 69006 LYON - TÉL. 16 (7) 824.57.63

S.A.R.L. au capital de 1.910.000 F

TÉLEX : MIDREP 215 621 F

NOM _____
SOCIÉTÉ _____
ADRESSE _____
CODE POSTAL _____
VILLE _____
JE DÉSIRE :
UNE DOCUMENTATION ☐
AUTRE _____

SI VOUS ÊTES INTÉRESSÉ
PAR L'ORDINATEUR PERSONNEL IBM
RENNVOYEZ-NOUS CE BON

Le lexique interne

par John Morton

- Par quels processus arrivons-nous à reconnaître un mot et à le répéter ? Cette question est l'une des plus fondamentales de la psycholinguistique et de nombreuses tentatives ont déjà été effectuées pour y répondre.
- Le modèle fonctionnel élaboré par John Morton s'intéresse avant tout à la façon dont sont traités les mots et aux différentes étapes nécessaires à la transformation de l'information visuelle ou auditive en discours.
- Le modèle mis au point par ajouts successifs est utilisé en neuropsychologie pour localiser les lésions chez des malades atteints de troubles cérébraux et en particulier des patients présentant des troubles du langage et de la lecture.

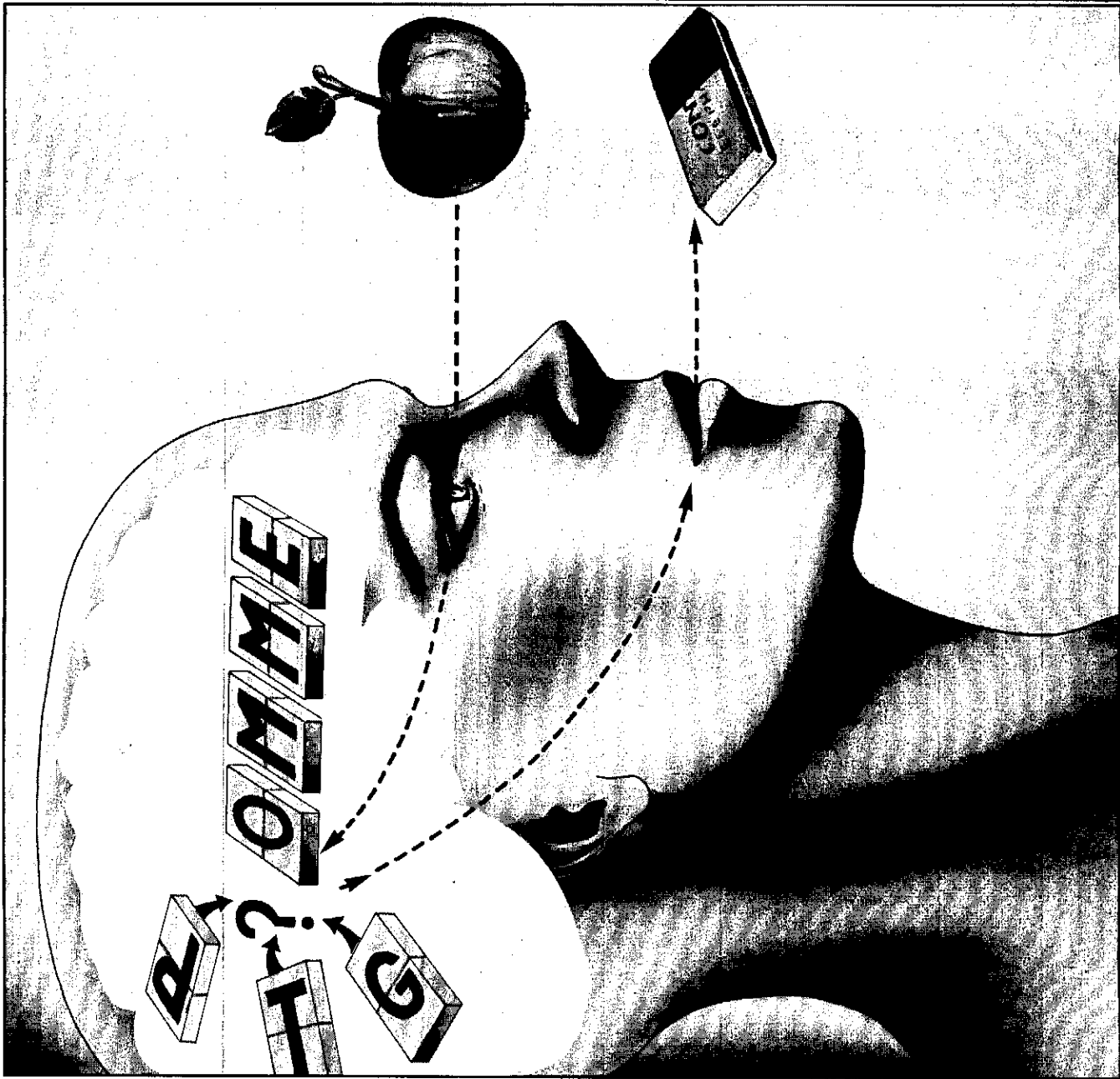


Figure 1. Par quels processus pouvons-nous répéter un mot entendu ou lire un mot à haute voix ? La reconnaissance des mots est un thème de recherche central en psycholinguistique et l'analyse des mécanismes cérébraux qui en sont responsables permet de mieux comprendre certains troubles du langage chez les malades mentaux.

John Morton est membre du Conseil de la recherche éducative de Grande-Bretagne. Il travaille actuellement Londres au MRC Applied Cognitive Unit.

■ La reconnaissance des mots est l'un des thèmes de recherche centraux en psycholinguistique. En effet, elle constitue la base d'activités quotidiennes, telles que la lecture ou l'écoute d'autrui : nous ne comprenons ce que nous lisons ou ce que l'on nous dit que si nous sommes capables d'identifier les mots. L'analyse des mécanismes cérébraux responsables de cette identification présente un intérêt évident puisqu'elle peut, en particulier, nous aider à mieux interpréter un certain nombre de troubles du langage chez des malades mentaux. J'ai choisi, pour ma part de m'intéresser plus précisément au lexique interne, c'est-à-dire aux transformations que subissent les mots dans notre cerveau entre le moment où nous les percevons, sous forme écrite ou orale, et celui où nous les répétons. Que se passe-t-il entre ces deux étapes ? Comment est-il possible de répéter un mot après l'avoir lu ou entendu ? Est-il plus facile de reconnaître un mot quand il est placé dans un contexte qui l'éclaire, ou lorsqu'il est présenté plusieurs fois ?

C'est à l'occasion d'un cours de lecture rapide dont j'avais à contrôler l'efficacité que je pus faire mes premières observations sur les mécanismes intervenant dans la compréhension des mots. Je constatai que certains participants lisaient deux fois plus vite après n'avoir assisté qu'à une ou deux séances du cours (qui se déroulaient sur seize semaines). Leurs progrès étaient dus au fait qu'ils anticipaient le sens de la phrase avant même de l'avoir lue complètement. Pour vérifier qu'ils comprenaient bien la phrase avant d'avoir fini de la lire, nous leur avons fait subir de nouveaux tests. Une série de mots isolés, comme « cinéma », étaient présentés à l'aide d'un tachistoscope, appareil qui permet de projeter très rapidement un matériel visuel. Chaque mot apparaît durant quelques millisecondes, ce qui rend sa lecture très difficile. On augmente donc le temps de projection jusqu'à ce que le mot soit lu correctement. On a refait la même expérience, mais cette fois en présentant d'abord au sujet une phrase incomplète : « Il demandait le chemin du... », par exemple. Quand le sujet a lu la phrase, on projette à la fin de celle-ci le mot « cinéma », dans les mêmes conditions que précédemment. Puis on compare le temps mis par le sujet pour reconnaître le mot au cours des deux expériences. Les résultats ont montré qu'il était plus facile de reconnaître un mot présenté dans un contexte qu'un mot isolé et que l'effet du contexte était très important. Mais comment expliquer ce phénomène ?

L'importance du contexte dans la reconnaissance des mots.

Vers la même époque, les années 1950, Donald E. Broadbent (Applied Psychology Unit, Cambridge) et George Miller (université de Harvard) venaient d'introduire la théorie de l'information en psychologie⁽¹⁾. Selon cette théorie, élaborée par le mathématicien américain C. Shan-

non, tout système impliqué dans la transmission de l'information atteint l'efficacité maximale en procédant à un codage simple des « messages » les plus probables. Chez l'homme, la perception des stimuli et la réponse qui leur est donnée peuvent se décrire en termes de probabilités.

Les recherches des psycholinguistes, surtout axées sur l'étude de l'entrée et de la sortie des informations visuelles et auditives, ne disaient rien des mécanismes qui, dans le système nerveux, modifient ces informations pour les transformer en parole. Le cadre conceptuel fourni par la psycholinguistique m'a permis de décrire mes premiers résultats expérimentaux mettant en évidence l'importance du contexte dans la reconnaissance des mots, mais il ne me donnait pas les moyens de les expliquer.

Ce rôle du contexte se manifeste à tout moment dans la vie quotidienne. Prenons l'exemple d'une chanson que nous entendons pour la première fois : nous n'en saisissons pas toujours les paroles. Si, au contraire, nous avons le texte de cette chanson sous les yeux, nous « entendons » parfaitement les paroles. C'est là une des manifestations de l'interaction entre le contexte et les informations sensorielles qui conditionnent nos perceptions.

Dans une lecture à voix haute, on peut avoir recours à deux méthodes différentes : on lit les mots comme on lirait des pseudo-mots (c'est-à-dire des ensembles de lettres sans signification), sans prêter attention à leur sens. Ou bien, on commence par comprendre ce que le mot signifie, puis on l'énonce. J'ai donc élaboré un modèle en partant de l'hypothèse que les différents processus de traitement du mot, le passage de l'auditif ou du visuel à l'expression orale, sont indépendants les uns des autres et que l'on peut, en utilisant des tests de lecture, vérifier les hypothèses concernant le fonctionnement détaillé de chacun de ces processus. Puis le modèle a été épuré grâce aux données obtenues avec des malades atteints de lésions cérébrales : il peut aujourd'hui servir à décrire des types particuliers de syndromes aphasiques (perte du langage articulé) et dyslexiques (perturbation du mécanisme de la lecture).

Mon modèle ne constitue pas la première tentative du genre. Au XIX^e siècle, plusieurs scientifiques, dont Wernicke et Lichtheim, avaient essayé de construire des modèles du fonctionnement cérébral qui comportaient un « centre auditif » et un « centre de la parole ». Ils essayaient de localiser ces centres dans le cerveau et d'expliquer les difficultés des patients par des lésions de ces centres ou des voies qui les relient entre eux (fig. 1). Comme cette tentative de localisation des fonctions psychologiques se solda par un échec, on abandonna les modèles fonctionnels qui ne firent leur réapparition que dans les années 1960.

Le modèle que j'ai élaboré se démarque des précédents, qui se présentaient comme des modèles neuro-anatomiques ; en

effet, je ne considère pas que les processus psychologiques doivent être automatiquement localisés dans des régions précises du cerveau. Il n'y a pas nécessairement simple superposition entre « centres nerveux » et « structure psycholinguistique ».

Ce modèle est présenté ici sous forme de cases reliées entre elles par des lignes fléchées (fig. 2). Ces cases représentent les différents modes de traitement des informations qui parviennent au système nerveux : nous traitons d'abord le mot visuellement, puis nous essayons de comprendre son sens (sémantique) et enfin nous l'énonçons (phonologie). Nous pouvons donc morceler en unités indépendantes les différentes étapes du processus qui nous permet de lire un mot et de le répéter. Grâce à ce modèle, on peut établir des relations entre les résultats expérimentaux et les observations relevant de la vie quotidienne. On comprend mieux, par exemple, pourquoi, dans un environnement bruyant, des phrases prononcées à voix haute sont plus faciles à comprendre que des mots isolés : on s'explique mieux, également, pourquoi le fait de connaître déjà les paroles d'une chanson ou d'un air d'opéra permet de les comprendre facilement lors de la diffusion d'un enregistrement qui était intelligible à la première écoute. La figure 2 permet de constater la complexité des systèmes dont il faut tenir compte si l'on veut présenter les deux modalités de la reconnaissance des mots : d'une part, la reconnaissance et la dénomination des objets, et d'autre part, la prononciation et l'écriture des mots isolés. Mais il ne sera question ici que d'un nombre restreint de cases, puisque seul le lexique interne nous intéresse, c'est-à-dire la façon dont sont organisés les processus de traitement des mots. Ceci nous a obligé à sélectionner les processus et les traitements que nous croyons les plus importants.

La nature du lexique interne.

Le problème que pose l'étude du lexique interne est de découvrir comment s'organise toute l'information concernant un mot : ses caractéristiques acoustiques, sémantiques, articulatoires, graphiques, etc. Dans une première étape, j'ai été amené à isoler ces différentes caractéristiques et à mettre en évidence un processus particulier que j'ai appelé : le système des logogènes. Qu'est-ce qu'un logogène ? J'ai créé ce terme à partir du mot grec *logos* (discours). Littéralement, le logogène signifie : « fabrique de discours ». Mais ce mot, ne recouvre pas nécessairement une réalité physique : il sert simplement à décrire la fonction ou l'ensemble de fonctions nécessaires pour reconnaître et reproduire un mot. Les fonctions existant dans le cerveau, bien sûr, mais cela n'implique en aucune manière que chaque processus psychologique que l'on doit correspondre à une unité physiologique localisable. Si j'ai créé ce terme de « logogène », c'est que j'avais be-

d'aspect très voisin. K.E. Patterson découvrît que la performance du patient était presque parfaite dans cette tâche. Ainsi quoique incapable d'utiliser les termes fonctionnels, il savait très bien que c'était des mots et ne les confondait pas avec les pseudo-mots.

Nous nous sommes ensuite aperçus qu'il en connaissait également la signification⁽¹⁰⁾. Sa tâche consistait à reconnaître, entre deux mots, celui qui « allait avec » un troisième. En voici quelques exemples :

sur / sous
plusieurs / peu
sauf / avec

Dans ce type d'exercices, le patient dyslexique réalise une bonne performance. Au contraire, on a observé un échec lorsque la tâche impliquait un effort de mise en relation syntaxique, c'est-à-dire une connaissance des rapports des mots entre eux, et non plus seulement de la signification de chaque mot, comme dans les exemples suivants :

il / lui
eux / celui
ceux-ci / ceux-là

Nous avons ensuite demandé au sujet d'obéir à des ordres simples. Dans un exercice comportant douze ordres comme : « Mettez la tasse sur la soucoupe », le patient fit onze erreurs, comme par exemple de poser la soucoupe sur la tasse. Il nous a paru qu'il traitait la préposition comme s'il s'agissait d'un adjectif et que par conséquent il la rattachait (en

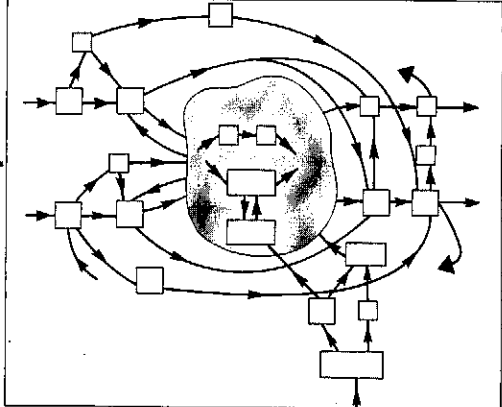


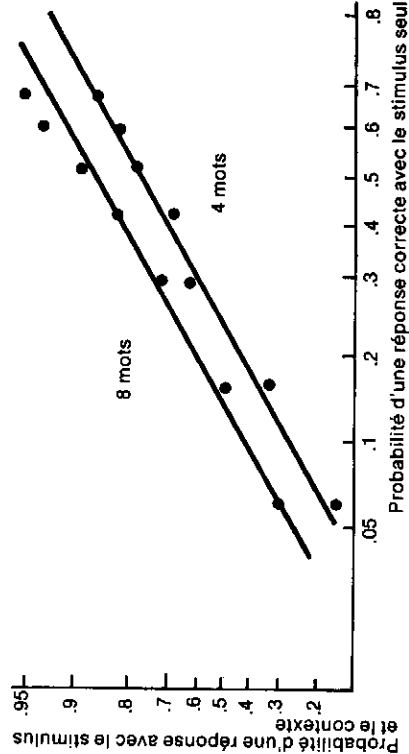
Figure 3. Partant de l'hypothèse que les différents processus de traitement du mot, passés du mot lu ou entendu au mot énoncé, sont indépendants les uns des autres, un modèle a été mis au point par John Morton. Représenté ici sous forme de cases reliées entre elles par des lignes fléchées, il se démarque du modèle précédent (fig. 1) car il ne superpose pas « centres nerveux » et structure psycholinguistique. Chaque case représente une fonction nécessaire pour reconnaître un mot et le nommer. Lignes et flèches indiquent le passage de l'information d'une fonction à l'autre. Le modèle, représenté ici dans sa plus grande extension, reflète l'extrême complexité des processus mentaux qui facilitent la reconnaissance des mots.

K.E. Patterson, « On the nature of reading disability », *Journal of Experimental Psychology*, 30, 587, 1946.
K.E. Patterson, « Reading disability: a review of the literature », *Psychological Bulletin*, 73, 339, 1975.
K.E. Patterson, « Reading disability: a review of the literature », *Psychological Bulletin*, 73, 339, 1975.
K.E. Patterson, « Reading disability: a review of the literature », *Psychological Bulletin*, 73, 339, 1975.
K.E. Patterson, « Reading disability: a review of the literature », *Psychological Bulletin*, 73, 339, 1975.
K.E. Patterson, « Reading disability: a review of the literature », *Psychological Bulletin*, 73, 339, 1975.
K.E. Patterson, « Reading disability: a review of the literature », *Psychological Bulletin*, 73, 339, 1975.
K.E. Patterson, « Reading disability: a review of the literature », *Psychological Bulletin*, 73, 339, 1975.
K.E. Patterson, « Reading disability: a review of the literature », *Psychological Bulletin*, 73, 339, 1975.
K.E. Patterson, « Reading disability: a review of the literature », *Psychological Bulletin*, 73, 339, 1975.

Contexte et reconnaissance des mots

La probabilité de donner une certaine réponse est directement proportionnelle aux indices qui plaident en faveur de cette option. Ce qui aboutit à l'équation suivante : $\text{Logit } P_{ij} = \text{Logit } P_{ij} + \text{Logit } P_{ij} + K$, dans laquelle $\text{Logit } p$ est donné par $\log(p/(1-p))$ et K , P_{ij} et P_{ij} représentent les probabilités d'être exact avec le contexte seul, avec le stimulus seul et avec la combinaison du contexte et du stimulus. J'ai repris les données obtenues en 1961 par Tulving, Mandler et Bauman de l'université de Toronto, lors de leurs travaux concernant l'effet du contexte sur la reconnaissance visuelle des mots. L'équation et les

hypothèses de traitement sur lesquelles elle se fonde s'appliquent donc au système des logogènes d'entrée visuelle. La figure montre les relations que j'ai observées. Les droites ont la même pente exacte, prédite par l'équation. A mon avis, l'ajustement semble parfaitement correct. Cette démonstration illustre bien comment on peut formuler des prédictions précises sur le fonctionnement du modèle lorsque l'on spécifie en détail un élément. Les expériences nous permettent alors d'accepter ou de rejeter certaines hypothèses concernant la manière dont fonctionnent les processus de traitement.



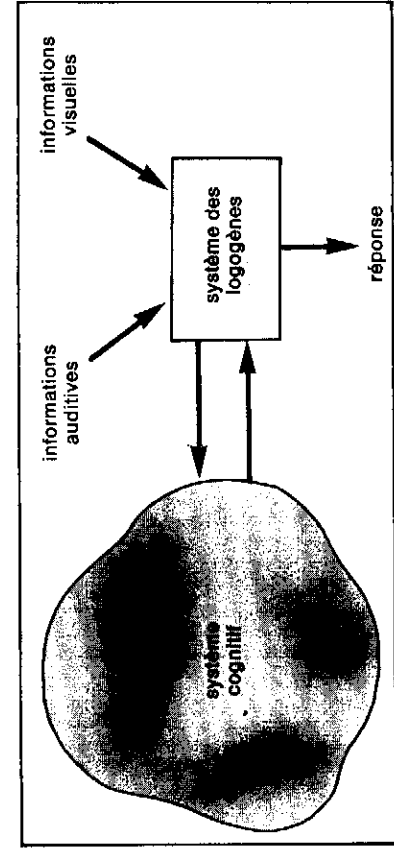
anglais) au nom suivant. Mais il saisissait toujours le sens de la relation : quand la consigne utilisait la préposition « sur », il ne plaçait jamais la tasse derrière ou à côté de la soucoupe. Nous en avons conclu que si les aspects sémantiques des mots fonctionnels restaient à peu près intacts, leurs aspects structurels étaient absents. Il existerait donc, dans le lexique interne, deux modes de représentation des termes fonctionnels, l'un sémantique et l'autre structurel, et c'est ce dernier qui ne fonctionnerait pas⁽¹¹⁾.

P.W., nous l'avons dit, est dyslexique profond typique. Ses troubles de lecture sont nombreux. Il est incapable de lire des pseudo-mots (ni même des graphèmes isolés) alors qu'il peut les répéter sans problème. Sa lecture des mots comporte environ 50 % d'erreurs, qui sont de trois types : sémantique (*amiral* est lu comme *colonel*), de dérivation (*édition* est lu *éditeur*), visuel (*potom* est lu *gomme*). Il faut noter que toutes les réponses, même fausses, du patient correspondent toujours à des mots réels. En général, il s'aperçoit de ses erreurs sémantiques, mais pas des autres⁽¹²⁾. Enfin, il se trompe beaucoup plus sur les mots fonctionnels que sur les autres termes. A cet égard, il ressemble à un agrammatique typique. Par exemple, il peut lire *mais* mais pas *mais*, *dent* mais pas *dans*, et il ne peut lire le mot car que lorsqu'on lui rappelle qu'il s'agit également d'un véhicule⁽¹³⁾.

Karalyn Patterson et moi-même avons localisé ces « lésions » dans notre modèle (fig. 8). Nous attribuons les difficultés que rencontre P.W. avec les pseudo-mots à une rupture du système chargé de convertir la forme graphique en une forme phonologique. Les erreurs sémantiques sont dues à un problème de liaison entre le système cognitif et le système des logogènes de réponse (cf. fig. 8), ainsi qu'à une absence de la voie directe entrée-réponse. Quant aux erreurs visuelles, il s'agit cette fois de difficultés de liaison entre le système d'entrée et le système cognitif. Il faut souligner que les erreurs visuelles ne peuvent être attribuées à un problème d'analyse visuelle puisque le patient ne lit pas comme des mots les pseudo-mots qui ont une forte ressemblance avec des mots réels. Par exemple, il ne lit pas *parché* (pseudo-mot) comme étant *marché*, mais il dira qu'il ne s'agit pas d'un mot. La prise de conscience des erreurs sémantiques est due au fait que le malade possède dans le système cognitif une représentation de la cible qu'il peut comparer avec sa réponse. Il n'en est pas de même pour les erreurs visuelles. Quant aux erreurs de dérivation, nous les associons aux problèmes que posent au patient les termes fonctionnels et la fonction syntaxique en général. Lorsque nous lisons un mot, il a une représentation sémantique et une représentation syntaxique. Lorsque P.W. commet une erreur de

(14) M.V. Beauvois and J. Derouesné, « Phonological alexia : three dissociations », *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 42, 1115, 1979.
(15) J.C. Marshall and F. Newcombe, « Patterns of paralexia : a psycholinguistic approach », *Journal of Psycholinguistic Research*, 2, 175, 1973.
(16) F. Michel, « Préservation du langage écrit malgré un déficit majeur du langage oral », *Lyon Medical*, 241, 141, 1978.
J. Morton, « Two auditory parallels to deep dyslexia », in M. Coltheart, K. Patterson and J.C. Marshall (eds.), *Deep dyslexia*, Routledge and Kegan, London, 1980.
M.C. Goldblum, « Auditory equivalents to deep dyslexia », *Paper delivered to the meeting of the European Psycholinguistics association on information processing models in Aphasia*, Paris, 1980.
(17) K.E. Patterson, « Neuropsychological approaches to the study of reading », *British Journal of Psychology*, 72, 151, 1981.

Figure 4. Dans les premières versions du modèle établi par J. Morton, les processus de traitement des mots comportent deux fonctions. La première permet de prononcer un mot après l'avoir lu ou entendu : c'est le système des logogènes, qui produit une réponse verbale à partir des informations auditives et visuelles. Les logogènes transmettent l'information qui concerne le mot au système cognitif, responsable des traitements sémantique et syntaxique. Mais le système des logogènes a également pour fonction de permettre une interaction entre le contexte et l'information sensorielle. Ainsi, nous comprenons mieux, dans un milieu bruyant, un discours continu qu'un mot isolé. C'est également grâce au système des logogènes que l'on reconnaît plus aisément un mot déjà vu.



dérivation entre *édition* et *éditeur*, la représentation sémantique est la même pour les deux mots alors que leurs représentations syntaxiques sont erronées. D'après notre modèle, il s'agit d'un problème concernant le processus que nous appelons dans la figure 8 « traitement linguistique ».

Ce patient se différencie nettement d'un certain nombre d'autres cas. Ainsi, certains malades ne peuvent pas lire les pseudo-mots : ce sont les *alexiques phonologiques*, étudiés par Marie-France Beauvois et J. Derouesné (hôpital de la Salpêtrière)⁽¹⁴⁾ et qui, pour la lecture, ne présentent qu'un trouble de la voie graphique/phonème.

La catégorie de patients appelés *dyslexiques de surface* connaît les mêmes difficultés avec les mots et les pseudo-mots⁽¹⁵⁾. Dans des cas de ce genre, nous attribuons les troubles observés au mauvais fonctionnement du système des logogènes d'entrée visuelle. Enfin, il existe des malades qui ne peuvent répéter des mots énoncés à haute voix mais dont la capacité de lecture est intacte⁽¹⁶⁾. Ce type de patients renforce l'image d'un lexique fractionné. K. Patterson s'est livrée à des comparaisons plus détaillées entre ces malades et d'autres cas pathologiques⁽¹⁷⁾. Grâce à tous ces patients, nous sommes convaincus de l'utilité d'un modèle qui souligne le caractère modulaire des processus qui le composent. A l'intérieur du modèle, il nous est très facile d'établir des contrastes entre les différents types de malades.

On notera que le modèle ne nous permet pas de savoir pourquoi la perte de voie graphémophonème s'accompagne généralement d'agrammatisme, ni d'expliquer un certain nombre d'autres troubles du langage qui surviennent à la suite d'une lésion cérébrale. Pour ma part, j'attribue ces phénomènes à la manière dont la fonction psychologique s'inscrit dans le cerveau. Si deux fonctions psychologiques sont localisées tout près l'une de l'autre, ou bien si elles partagent la même zone du cortex, nous pouvons découvrir, dans les troubles manifestés par le malade, des corrélations qui n'ont rien à voir avec la nature des processus psychologiques. Il faut également rappeler qu'une lésion cérébrale donnée peut perturber de bien des façons un processus psychologique.



Figure 5. La plupart des expériences de reconnaissance des mots sont réalisées avec un tachistoscope, qui permet de présenter des stimuli à de très brefs intervalles (quelques millisecondes). Le sujet (à gauche) tient dans ses mains deux boutons. Avec le premier, il fait apparaître le stimulus, en l'occurrence une phrase contenant le mot à reconnaître. Puis il presse le second bouton quand il a lu la phrase. Ce second signal fait disparaître la phrase, remplace brièvement par un mot que le sujet doit reconnaître. Le mot est présenté à plusieurs reprises, de plus en plus longtemps, jusqu'à ce que le sujet réussisse à le reconnaître. (Cliché MRC Applied Psychology Unit, Cambridge.)

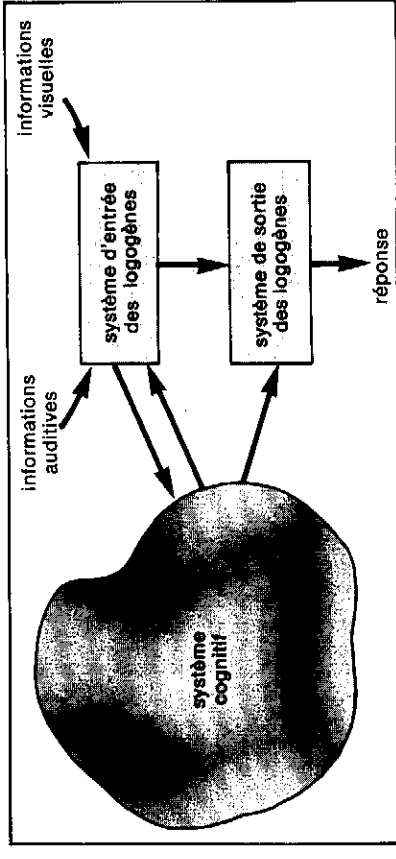


Figure 6. Le fait de voir et de nommer une image correspondant à un mot, papillon par exemple, ne facilite pas ensuite la reconnaissance de « papillon » lorsqu'il est présenté très rapidement. On ne peut donc pas placer sur un même plan la production d'un mot et le processus qui facilite sa reconnaissance. Le modèle a donc été divisé en deux : le système d'entrée des logogènes qui facilite l'information quand elle est perçue par la vue ou l'ouïe, et le système de sortie qui produit les mots, le système de réponse. Lorsque l'on met un nom sur une image, l'information passe directement du système cognitif à la sortie, sans influencer les logogènes d'entrée. C'est pourquoi la présentation d'une image n'a pas d'effet sur la reconnaissance du mot.

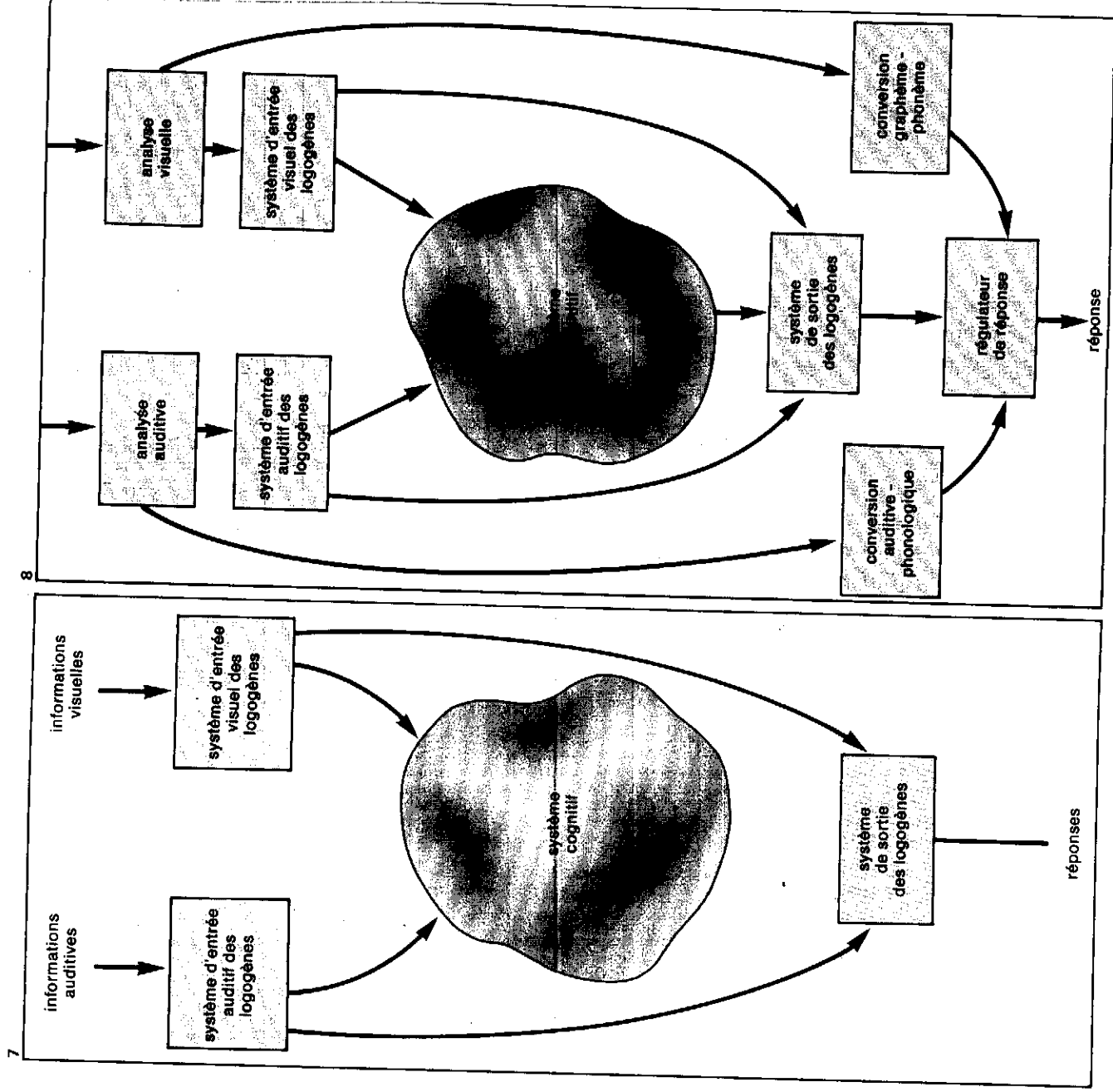


Figure 7. Au cours d'une autre étape dans l'élaboration du modèle, les expériences ont montré qu'il y avait très peu de relations entre l'audition d'un mot et sa reconnaissance visuelle. Autrement dit, si l'on présente un mot à un sujet, il ne reconnaît pas plus facilement ce mot prononcé sur un bruit de fond. Le modèle a donc été modifié en séparant les entrées auditives et les entrées visuelles puisqu'elles sont indépendantes l'une de l'autre. Cette étape constitue la version finale du modèle.

Figure 8. Que se passe-t-il lorsque nous lisons, ou entendons, et que nous répétons un pseudo-mot, c'est-à-dire un ensemble de lettres sans signification ? L'information visuelle ou auditive passe par un système d'analyse qui permet d'identifier les lettres du pseudo-mot. Puis la conversion des lettres en phonèmes est effectuée avant d'aboutir au régulateur de réponse, qui permet de répéter le pseudo-mot.

observant le comportement des patients, il est très difficile d'établir avec exactitude ce qui se trouve à l'endroit de la lésion. Toutefois, il devient plus facile d'imaginer ce qui se passe dans différentes zones cérébrales lorsqu'on commence à disposer d'une description précise des processus en jeu et de leur mode d'interrelation en termes psychologiques. D'autre part, beaucoup de ces malades ont des lésions très étendues, et il serait imprudent d'avancer des affirmations trop catégoriques. Tout ce que l'on peut dire, c'est que la plupart des fonctions en question utilisent une certaine zone de l'hémisphère gauche. De plus, nous ignorons si la perte de la fonction est due à la destruction du processus de traitement ou à sa mise hors circuit. Des précisions de ce type peuvent très bien avoir leur importance dans un proche avenir mais, pour le moment, nous voulons progresser dans notre travail sans trop nous préoccuper de ce genre de problèmes. En fin de

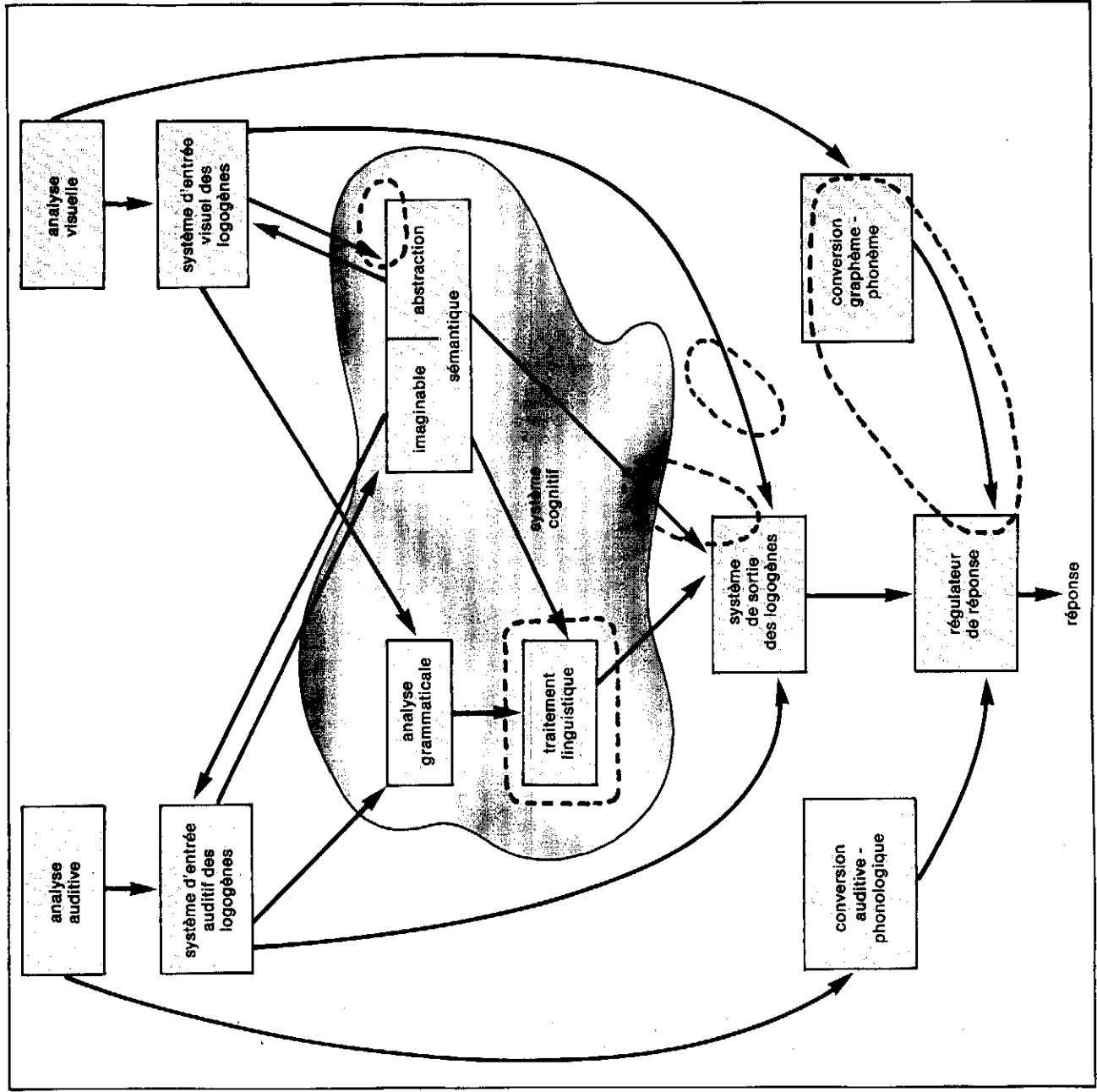


Figure 9. Certains patients, souffrant de lésions cérébrales présentent de nombreux troubles de lecture et dissocient syntaxe et sémantique. Dans la dernière étape de son modèle, John Morton a « localisé » les lésions correspondant à ces troubles et les a indiquées en pointillés. Cette version du modèle a été utilisée pour identifier les troubles fonctionnels, notamment chez un dyslexique profond.

compte, nous ne savons pas du tout si des lésions cérébrales identiques surviennent chez de vrais jumeaux entraîneraient les mêmes déficits.

J'espère avoir montré que cette approche du traitement de l'information dans le domaine de la connaissance et du langage répondait aux exigences de toute investigation scientifique. Elle nous permet de relier entre eux quantité de faits différents ; de prédire des faits nouveaux ; de formuler des questions nouvelles et de proposer de nouvelles descriptions dans un domaine concret ; enfin, d'invalider des éléments particuliers de la structure

du modèle, sans en altérer la forme.

Ce modèle me semble à la fois suffisamment complexe pour offrir de l'intérêt et intelligible dans sa forme. Je considère-rai que j'ai atteint mon but si j'ai pu faire comprendre que le « lexique » mental est divisé en quantité d'unités fonctionnelles distinctes, et qu'il représente autre chose que le processus unique auquel fait allusion le langage courant.

Pour en savoir plus :

- M. Coltheart, K. Patterson, J.C. Marshall (eds.), *Deep Dyslexia*, Routledge and Kegan, Londres, 1980.
- P.H.K. Seymour, *Human Visual Cognition*, Collier Macmillan, Londres, 1979.
- Leslie Henderson, *Orthography and word recognition in reading*, Academic Press, Londres, 1982.
- Uta Fith (ed.), *Cognitive process in spelling*, Academic Press, Londres, 1980.
- U. Neisser, *Cognitive Psychology*, Appleton Century Craft, New York, 1967.

L'hydrogène atomique

par A. John Berlinsky et Walter N. Hardy

A. John Berlinsky, et Walter N. Hardy de l'University of British Columbia à Vancouver, animent une des équipes engagées dans la course à la découverte de l'hydrogène superfluide.

■ L'hydrogène, l'élément le plus abondant, se présente généralement sous forme d'un gaz constitué de molécules diatomiques H_2 . Dans la matière interstellaire, on le rencontre à l'état de gaz monoatomique. C'est précisément ce gaz d'hydrogène atomique que plusieurs laboratoires de physique tentent de produire. Comment et pourquoi ?

■ La motivation théorique est importante car les prédictions le présentent comme le seul exemple, accessible à l'homme, d'un superfluide gazeux. Mais c'est au prix d'acrobatie techniques (très basses températures, très hauts champs magnétiques, récepteur enduit d'hélium...) que l'on arrive aujourd'hui à enfermer un peu d'hydrogène atomique pendant quelques minutes. Assez cependant pour pouvoir déclarer que nous sommes, semble-t-il, sur la voie de la découverte de l'hydrogène superfluide.

■ Idéaliser un problème difficile, c'est-à-dire le remplacer par un problème modeste, simple, dont il soit possible de trouver une solution exacte, est depuis toujours l'une des méthodes de travail fondamentales des physiciens. La plupart des systèmes physiques sont trop compliqués pour être traités exactement, aussi est-il nécessaire de simplifier pour progresser. Mais les physiciens ont tellement confiance en leurs modèles simples qu'ils en recherchent sans cesse des réalisations concrètes. Le but consiste alors à montrer qu'un système presque idéal mais réel se comporte comme le prévoit la théorie dont on montre ainsi que les fondements sont sains. Des expériences menées récemment à Amsterdam, au Massachusetts Institute of Technology, à Cornell, et à l'University of British Columbia, relatives à la dissociation des molécules d'hydrogène H_2 , puis à refroidir les atomes H obtenus près du zéro absolu en les empêchant de se recombiner, pour produire un gaz d'hydrogène atomique. Cette prouesse expérimentale fournit un gaz quantique idéal qui permet de comprendre en détails comment la condensation de Bose-Einstein, prédiction théorique concernant les propriétés statistiques de certaines particules quantiques, peut expliquer la superfluidité, comportement réellement observé de certains fluides près du zéro absolu.

Superfluidité et condensation de Bose-Einstein.

Mais qu'a donc cet hydrogène atomique de particulier ou de tellement important ? On apprend au lycée que la loi des gaz parfaits décrit bien les propriétés de la plupart des gaz (la pression est bien proportionnelle au produit de la température et de la densité). Puis, à l'université, on apprend que les effets de la mécanique quantique se font sentir dès que la température devient basse ou la densité élevée, mais qu'ils peuvent revêtir deux formes différentes, puisque les particules quantiques se classent en deux grandes catégories : les « bosons » et les « fermions » (voir encadré 1) dont on peut prédire rapidement les différences de comportement de la façon suivante : les fermions (par exemple, les électrons, les protons...) obéissent au principe dit d'exclusion de Pauli selon lequel deux particules

ne peuvent occuper le même état quantique. A basse température, ce principe conduit à une répulsion effective entre atomes et donne une contribution supplémentaire à la pression. Au contraire, les bosons préfèrent se rassembler tous dans le même état. Or Einstein a prédit dans les années vingt que cette tendance doit avoir une conséquence spectaculaire : il a montré en effet qu'en dessous d'une certaine température un gaz de bosons idéal (i.e. sans interaction) doit se « condenser » pour constituer un nouvel état de la matière dans lequel certains atomes se comportent comme dans un gaz habituel tandis que d'autres, formant le « condensat », ne peuvent être décrits de façon classique. Le comportement de ce condensat doit être globalement décrit par la mécanique quantique et, si la température tend vers le zéro absolu, tous les atomes doivent le rejoindre petit à petit. Mais, cette « condensation de Bose-Einstein » n'a jamais été observée expérimentalement, et c'est sans doute parce que, bien avant que ses conditions d'existence ne soient satisfaites, la plupart des substances naturelles se solidifient lorsqu'on les refroidit. L'hydrogène lui-même, qui est habituellement constitué de molécules H_2 dont les interactions sont relativement fortes, se solidifie vers 14 K. Il n'existe en fait qu'une exception, l'hélium, qui reste liquide jusqu'au zéro absolu et passe effectivement vers 2.2 K à un état superfluide ce que l'on croit lié à une condensation de Bose-Einstein. Qu'est-ce donc que la superfluidité, pourquoi la croit-on reliée à la condensation de Bose-Einstein et pourquoi aller chercher un gaz aussi difficile à préparer que l'hydrogène atomique ?

On sait qu'il existe deux isotopes stables de l'hélium, 3He qui est un fermion et 4He qui est un boson. C'est 4He qui devient superfluide vers 2.2 K et il s'agit d'une transition spectaculaire. Par exemple, la conductivité thermique semble devenir infinie et il cesse de bouillir. De plus, dans certains cas, il coule sans viscosité apparente et c'est bien sûr cette propriété qui fit naître le terme de superfluidité et la définit habituellement. Or rien d'analogue n'est observable sur 3He jusqu'à des températures près de 1 000 fois plus basses et comme ces deux isotopes sont par ailleurs très semblables, la superfluidité de 4He semble bien associée à sa nature de boson. Toutefois, si l'on veut démon-

trer qu'il existe un lien entre condensation de Bose-Einstein et superfluidité une difficulté apparaît puisque la prédiction théorique concerne des gaz de bosons sans interaction alors que l'hélium 4 est un liquide avec des interactions relativement fortes. Bien sûr, R. Feynmann du Caltech en 1954, puis Paul Martin et Pierre Hohenberg de Harvard, en 1965, ont montré dans le cadre de théories plus sophistiquées qu'un liquide de Bose tel que 4He devrait être superfluide, en particulier la viscosité nulle, et que les mêmes raisons devraient conduire un gaz de bosons (les interactions sont faibles à être superfluide lui aussi. Mais on n'a pas réussi aujourd'hui à résoudre ce problème complètement : la structure du seul superfluide de bosons connu, l'hélium 4, est très compliquée pour être traitée théoriquement et le seul système dont on dispose d'une description théorique précise, un gaz de bosons, n'a jamais trouvé d'illustration expérimentale.

Le gaz de bosons idéal.

Les progrès réalisés récemment dans l'étude d'un gaz d'hydrogène atomique sont tels que cette situation devrait changer d'ici un an ou deux. Placé dans des conditions appropriées, l'hydrogène atomique est capable de rester gazeux (solide ni même liquide) à température aussi basse que l'on veut. Comme les atomes H sont des bosons, il semble qu'on ait trouvé en ce système le premier (probablement le seul) exemple physique de gaz de bosons idéal et dans de nombreux laboratoires à travers le monde, on poursuit des expériences à la recherche de sa condensation de Bose-Einstein.

Comprendre pourquoi l'hydrogène reste un gaz et dans quelle mesure on peut parler de faibles interactions exige que l'on analyse la façon dont deux atomes H interagissent entre eux. Tout dépend dans ce cas de la valeur des moments angulaires intrinsèques des électrons (leurs « spins », voir encadré 2) et les choses sont un peu compliquées. Considérons donc pour commencer le cas le plus simple de deux atomes d'hélium 4 où l'effet de ces spins est nul. On peut décrire l'interaction de deux 4He par le potentiel $V(r)$ qui représente le travail qu'il est nécessaire de fournir pour rapprocher deux atomes à l'infini à une distance r (fig. 2A). Cette énergie potentielle