

**L'APPROCHE CONNEXIONISTE EN NEUROPSYCHOLOGIE COGNITIVE:
LE CAS DE LA LECTURE ET DES DYSLEXIES ACQUISES**

Daniel Fiset et Martin Arguin

Groupe de recherche en neuropsychologie expérimentale, Département de psychologie,
Université de Montréal
et
Centre de recherche, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal

Veillez adresser la correspondance au sujet de cet article à:

Martin Arguin, Ph.D.
Département de psychologie
Université de Montréal
C.P. 6128, Succ. Centre-ville
Montréal, Qc
H3C 3J7

Télécopie: 514-343-5787
courriel: martin.arguin@umontreal.ca

RÉSUMÉ

Le présent article vise à illustrer l'intérêt de l'approche connexioniste pour la psychologie à travers un exposé de son application pour notre compréhension de la lecture normale et des dyslexies acquises suite à une lésion cérébrale. Nous présentons d'abord l'approche modulaire, qui a donné lieu aux premières théories psychologiques modernes de la lecture, de même que les exigences fondamentales du processus de lecture. La variété des dyslexies acquises ayant principalement intéressé les théories de la lecture est ensuite présentée, de même qu'un ensemble d'observations importantes s'avérant problématiques pour l'approche modulaire. Les grands principes à la base de l'approche du traitement parallèle et distribué, aussi connue comme l'approche connexioniste sont décrits. L'application de l'approche pour la modélisation du processus de lecture normale et des dyslexies acquises est enfin décrite. Il est conclut que le succès de l'approche connexioniste dans cette entreprise de même que dans d'autres domaines de la cognition la rendent fort prometteuse. La généralité et la puissance des principes sur lesquels elle repose suggèrent également l'intérêt de son utilisation dans d'autres domaines de la psychologie.

Dans le domaine de la psychologie et de la neuropsychologie cognitive, la modélisation du fonctionnement humain a longtemps été influencée par la philosophie modulariste (voir Fodor, 1983). Celle-ci postule que le cerveau est constitué de modules indépendants qui accomplissent leur travail de façon séquentielle, comme dans une chaîne de montage. La notion de modularité a été appliquée avec succès à de nombreux domaines de la psychologie et de la neuropsychologie cognitive, notamment à la lecture (Coltheart, Curtis, Atkins & Haller, 1993; Coltheart et al., 2001) et aux dyslexies acquises suite à une lésion cérébrale (Patterson, Marshall & Coltheart, 1985). Au cours des quinze dernières années, une approche différente de la cognition a commencé à émerger (voir McClelland & Rumelhart, 1986; Rumelhart & McClelland, 1986). Cette approche, que nous appellerons celle du traitement parallèle et distribué (TPD), est basée sur le fonctionnement et l'interaction d'un grand nombre d'unités appelés neurones formels de par leur similarité fonctionnelle avec les neurones biologiques. Sans nécessairement être en contradiction avec la position modulariste, cette approche a profondément affecté l'entreprise de formulation et d'évaluation des théories visant l'explication de capacités et phénomènes cognitifs de tous ordres.

Dans le présent article, nous allons aborder la contribution de l'approche TPD pour notre compréhension des mécanismes impliqués dans la lecture chez l'individu normal et l'atteinte de ces mécanismes dans les dyslexies acquises. Celle-ci sera contrastée à l'approche modulaire classique, qui a longtemps constitué l'unique cadre de référence théorique pour la compréhension des phénomènes en question.

Lecture et modularité

Une composante majeure de la lecture implique la conversion d'une séquence de lettres perçues visuellement en une prononciation constituée par une séquence de phonèmes (i.e. sons de la langue). En français, comme dans la plupart des langues, il existe une relation systématique (ou régulière) entre les formes écrites et orales d'une majorité des mots (e.g. POSE \Rightarrow /poz/). L'approche modulaire classique postule qu'une composante importante de l'apprentissage de la lecture implique une assimilation de cette systématisme entre le langage écrit et oral à travers la construction d'un ensemble de règles de conversion graphèmes-phonèmes (CGP). Ces règles sont postulées être insensibles à la fréquence des unités linguistiques représentées et s'appliquer de gauche à droite sur une séquence de lettres, ce qui permettrait de lire correctement un grand nombre de mots. Ainsi, la CGP produirait une réponse phonologique adéquate pour l'ensemble des mots réguliers. Celle-ci permettrait également la lecture et l'apprentissage de nouveaux mots. La CGP présente toutefois une limite importante, à l'effet qu'elle ne permet pas de lire des mots irréguliers, tels que FEMME ou MONSIEUR, qui seraient lus /fɛ̃m/ et /mɔ̃siɛ̃R/, respectivement.

Étant donné cette difficulté, on ajoute donc aux règles CGP une procédure de lecture dite « lexicale », qui est capable de prendre en charge les exceptions. Les modèles modulaires actuels postulent que la lecture « lexicale » implique trois modules de représentation distincts (Fig. 1). Le premier est le lexique orthographique. Il est possible de faire un parallèle entre ce lexique et un dictionnaire où chaque mot constitue une

entrée particulière sous sa forme orthographique. Toutefois, la lecture ne consiste pas seulement à reconnaître les mots que nous connaissons, il est également nécessaire de les comprendre. Par analogie avec le dictionnaire, le module sémantique peut être envisagé comme contenant la définition ou le sens des mots. Les lecteurs normaux doivent également être capables de lire à voix haute les mots qu'ils ont compris. C'est le lexique phonologique qui contient les connaissances sur la façon correcte de prononcer les mots.

Insérer la Figure 1 près d'ici.

Le modèle à deux voies (CGP et voie lexicale) de la lecture décrit ici est en mesure d'expliquer un grand nombre de phénomènes fondamentaux dans la lecture normale. Par exemple, quand les sujets normaux doivent lire des mots connus, la longueur de ceux-ci a peu ou aucune influence sur leur temps de réponses (Weekes, 1997). Cette observation peut s'expliquer par la capacité de la voie lexicale à traiter l'ensemble des lettres en parallèle (i.e. simultanément), plutôt que de gauche à droite comme la voie CGP. Un autre résultat important est que les mots fréquents sont lus plus rapidement que les mots rares. Ceci s'expliquerait par la sensibilité de la voie lexicale à la fréquence des mots, facteur auquel la CPG est évidemment insensible puisqu'elle ne peut prendre en considération que des unités plus petites que le mot (unités sous-lexicales).

Les dyslexies acquises

Les études neuropsychologiques menées auprès de patients cérébrolésés ont fortement contribué à établir la crédibilité de la théorie de la lecture proposée par l'approche modulaire, qui implique deux voies de traitement distinctes. En fait, le modèle à deux voies a été élaboré en parallèle aux découvertes majeures faites par la neuropsychologie cognitive au sujet des dyslexies acquises. Ceci explique notamment la grande transparence entre les mécanismes proposés par cette théorie et les différentes formes de dyslexies acquises.

La dyslexie de surface chez un patient cérébrolésé a été rapportée pour la première fois par Marshall et Newcombe (1973). Ceux-ci l'ont décrite comme une forme acquise de trouble de la lecture qui est caractérisée par une difficulté spécifique au niveau de la reconnaissance des mots irréguliers. Spécifiquement, les patients atteints commettent de fréquentes erreurs lors de la lecture de mots irréguliers, alors que leur lecture de mots réguliers ou de pseudo-mots (séquences de lettres orthographiquement régulières et qui sont prononçables) est relativement intacte. Marshall et Newcombe (1973) ont proposé que la dyslexie de surface est causée par une atteinte (conséquente à la lésion cérébrale) au niveau de la voie lexicale. Les patients affectés se voient donc obligés d'utiliser la voie CGP pour lire, ce qui s'avère évidemment inefficace pour la lecture des mots irréguliers. Les erreurs des dyslexiques de surface seraient donc le résultat d'un échec de la voie CGP lorsque confrontée à des mots irréguliers. De façon congruente, les erreurs produites sont en forte majorité des régularisations, qui consistent à prononcer un mot écrit en conformité avec les règles CPG (e.g. le mot monsieur est dit /mɔ̃siœR/).

Une dyslexie acquise complémentaire à la dyslexie de surface a été décrite pour la première fois par Beauvois et Derouesné (Beauvois & Derouesné, 1979; Derouesné & Beauvois, 1979). Ils ont observé un patient éprouvant des difficultés importantes à lire les mots qui lui étaient auparavant inconnus (ou des pseudo mots comme « chabidula ») alors que la lecture des mots connus, réguliers ou irréguliers, était préservée. L'interprétation proposée pour la dyslexie phonologique dans le cadre du modèle modulaire postule une atteinte de la voie sous-lexicale, alors que la voie lexicale serait relativement préservée.

La découverte des dyslexies de surface et phonologique a joué un rôle primordial pour assurer la validité du modèle à deux voies car elle permettait d'établir la double dissociation entre les deux mécanismes postulés. La dissociation est une entité théorique importante en neuropsychologie cognitive. Elle consiste à trouver un patient donné (par exemple un dyslexique de surface) éprouvant des difficultés dans une certaine tâche (la lecture de mots irréguliers) alors qu'une autre tâche (la lecture de nouveaux mots ou de pseudo mots) est exécutée correctement. Il y a donc dissociation entre ces deux tâches qui exigent peut-être la contribution de mécanismes cognitifs distincts. Le 'peut-être' a ici une importance capitale. En effet, l'interprétation d'une telle dissociation, qualifiée de simple dissociation, en termes de deux mécanismes distincts est peu parcimonieuse. Ainsi, une explication plausible plus simple est disponible, celle-ci postulant que la dissociation est fonction de la difficulté relative des tâches présentées au sujet, la tâche la plus difficile étant échouée (dans l'exemple plus haut, la lecture de mots irréguliers) alors que la plus facile (dans l'exemple plus haut, la lecture de mots réguliers et de pseudo-

mots) est réussie. Une façon extrêmement efficace de falsifier cette interprétation alternative réside dans l'observation d'un patient qui éprouverait le trouble inverse, constituant ainsi la démonstration d'une double dissociation. Dans l'exemple qui nous intéresse, la double dissociation consiste, suite à la démonstration d'un trouble comme la dyslexie de surface, de démontrer l'existence de patients présentant une dyslexie phonologique (Shallice, 1988). C'est exactement ce type de double dissociation que la découverte conjointe des dyslexies de surface et phonologique a permise, appuyant ainsi l'hypothèse de deux mécanismes distincts, soient la voie lexicale et la voie CGP.

Plus récemment, la dyslexie sémantique a été décrite par Schwartz, Saffran et Marin (1980). La patiente qu'ils ont étudié était atteinte d'une démence de type Alzheimer. Celle-ci lisait correctement l'ensemble des mots (réguliers et irréguliers) ainsi que les pseudo mots. Cependant, celle-ci était incapable de démontrer sa compréhension des mots qu'elle arrivait à lire correctement, suggérant ainsi une atteinte du module sémantique postulé par la théorie modulariste. D'autres cas similaires ont été rapportés par la suite par d'autres auteurs (Cipolotti & Warrington, 1995; Coslett, 1991; Lambon Ralph et al, 1995). La démonstration de la dyslexie sémantique a mené à la proposition d'une voie directe (voie lexicale asémantique, voir Fig. 1) entre le lexique orthographique et le lexique phonologique. Celle-ci serait intacte dans la dyslexie sémantique alors que la voie entre orthographe et sémantique (ou encore le module sémantique lui-même) serait atteinte.

Une autre forme de dyslexie acquise, particulièrement spectaculaire a été décrite par Marshall et Newcombe (1966). Le critère diagnostique de cette dyslexie, appelée dyslexie profonde, consiste en la présence d'erreurs sémantiques en lecture de mots (par exemple, lire « pomme » pour le stimulus « orange »). Selon Marshall et Newcombe (1973), cette forme de dyslexie fournit des arguments empiriques solides en faveur d'une voie de lecture lexicale sémantique indépendante de la phonologie (i.e. la voie directe entre le lexique orthographique et le module sémantique décrite plus haut). En effet, ces patients atteints de dyslexie profonde n'ont certainement aucun accès à la phonologie du mot à lire puisque le moindre accès à la phonologie du stimulus « orange » permettrait certainement d'éliminer « pomme » comme réponse possible. Bien que la caractéristique principale de la dyslexie profonde soit la production d'erreurs sémantiques en lecture à voix haute, d'autres symptômes caractérisent également le désordre. Ainsi, les patients atteints sont complètement incapables de lire les pseudo-mots et ils ont tendance à faire un grand nombre d'erreurs dites visuelles. De plus, des erreurs à la fois visuelles et sémantiques sont également observées; par exemple un sujet dira « orchestre » pour le stimulus « sympathie ». Dans cet exemple, il est postulé que le sujet fait une première erreur visuelle (« sympathie » devient « symphonie») et ensuite commet une seconde erreur, sémantique cette fois (« symphonie» devient « orchestre»).

Pour expliquer la dyslexie profonde, le modèle modulaire doit postuler l'existence de quatre lésions fonctionnelles distinctes. Une première atteinte sévère de la voie sous-lexicale est requise pour expliquer l'abolition de la lecture de pseudo-mots. Une autre atteinte affectant la voie lexicale sémantique doit également être postulée pour expliquer

les erreurs sémantiques. Une atteinte au niveau de la voie lexicale asémantique (i.e. voie reliant le lexique orthographique au lexique phonologique) et une autre au niveau de l'analyse visuelle sont enfin requises pour expliquer les erreurs visuelles.

De la discussion qui précède, il semble que le modèle modulaire soit une théorie tout à fait adéquate des mécanismes impliqués dans la lecture. Ainsi, cette approche est en mesure d'expliquer la majorité des observations disponibles grâce à la supposition de mécanismes cognitifs qui sont extrêmement transparents en rapport aux données empiriques. Alors que cette grande transparence puisse être envisagée comme un atout de la théorie, certains auteurs ont argumenté, par contre, que le modèle ne constitue en fait qu'une simple re-description des données empiriques en terme de boîtes et flèches (Seidenberg, 1988). C'est en partie sur la base de cette critique d'ordre philosophique que Seidenberg propose que l'étude de la lecture et de ses atteintes exige maintenant une théorie plus générale des mécanismes cognitifs et des représentations utilisées par le cerveau pour accomplir les tâches auxquelles il est assigné. Celui-ci suggère la théorie du traitement parallèle et distribué (TPD) comme cadre théorique alternatif à la théorie modulariste ayant eu cours précédemment, ce qui l'a amené à proposer un nouveau modèle particulièrement intéressant des mécanismes sous-jacents à la lecture (Seidenberg & McClelland, 1989). Avant d'aborder la théorie TPD et son application dans le domaine de la lecture, nous allons souligner d'autres faiblesses du modèle modulaire classique qui sont d'ordre empirique cette fois.

Quelques phénomènes difficilement explicables par le modèle modulaire

Dès 1979, Glushko a rapporté que la lecture de pseudo-mots irréguliers (pseudo-mots qui ressemblent à des mots irréguliers) par des sujets normaux donnait lieu à des temps de réaction plus lents que pour des pseudo-mots réguliers (voir également Henderson, 1982; Humphreys & Evett, 1985; Kay & Marcel, 1981 ; de même que Marcel (1980) pour des observations comparables chez des dyslexiques de surface). Le modèle modulaire s'avère incapable d'expliquer ce résultat compte tenu qu'il postule que les pseudo-mots ne peuvent être lus que par la voie CGP, qui devrait évidemment être insensible à leur régularité.

Dans la même veine, Glushko (1979) rapporte également que les mots réguliers sont lus plus rapidement par des lecteurs normaux que les mots irréguliers (effet de régularité ; voir également Parkin, 1982; Waters & Seidenberg, 1985). De façon plus importante cependant, les résultats de Glushko (1979) démontrent également ce qui a été qualifié d'effet de consistance en lecture mots réguliers (voir également Jared, McRae et Seidenberg, 1990 ; et Peereman et Content, 1997). Les mots inconsistants sont des mots qui respectent les règles CGP mais dont la prononciation est partiellement incongruente par rapport à d'autres mots qui lui sont orthographiquement similaires (par ex. le stimulus « masse » se prononce /mas/ alors que « passe », « tasse », « casse » se prononcent tous /_as/). Par opposition, les mots consistants sont des mots dont la prononciation est congruente à d'autres qui lui sont similaires (par ex. le stimulus « main » se prononce comme « pain », « bain », « vain » etc.). Dans son expérience, Glushko montre que les mots consistants sont lus plus rapidement que les mots inconsistants et ce même si tous les mots présentés dans l'expérience sont réguliers. L'effet de consistance en lecture de

mots réguliers ne peut être expliqué par la théorie modulaire décrite précédemment, qui ne comporte aucun mécanisme susceptible d'être affecté par la consistance des mots réguliers.

En conséquence de ses observations, inexplicables par la théorie modulaire classique, Glushko (1979; voir également Marcel, 1980) avance la perspective de l'analogie lexicale, qui est considérée par plusieurs comme un précurseur de l'approche TPD telle qu'appliquée plus tard au domaine de la lecture. Il propose ainsi que la lecture des non-mots est effectuée par un processus d'analogie aux mots connus et qu'elle implique les mêmes mécanismes cognitifs que la lecture de mots. De la même façon, la lecture des mots connus impliquerait également un processus d'analogie à d'autres mots connus qui sont orthographiquement similaires à la cible

Sur un autre front, Patterson et al. (1996) notent qu'une très forte majorité de patients présentant une dyslexie de surface éprouvent également des difficultés à trouver le mot correct pour s'exprimer ou nommer un objet (anomie) dans leur discours spontané, ce qui semble attribuable à une atteinte d'ordre sémantique ou au niveau de l'activation phonologique à partir de la sémantique. Or, le modèle modulaire s'avère incapable de prédire l'existence quasi-systématique de cette association entre dyslexie de surface et anomie. Sans falsifier le modèle modulaire, une association de symptômes aussi fréquente et inexplicable a contribué à en affaiblir la crédibilité.

La problématique des déficits associés et de ses implications problématiques pour la théorie modulaire existe également en ce qui concerne la dyslexie phonologique. Ainsi, dans une revue de 18 cas de dyslexie phonologique Colheart (1996 ; voir également Farah, Stowe et Levinson, 1996) souligne que l'ensemble de ceux-ci éprouvent des difficultés d'ordre phonologique, qui pourrait notamment être révélées dans le contexte de tâches de répétition de stimuli (en particulier des pseudo-mots) présentés oralement. Ceci suggère, pour plusieurs, que la dyslexie phonologique implique une atteinte généralisée du système phonologique plutôt qu'un problème restreint au domaine de la lecture (Farah, Stowe & Levinson; Harm & Seidenberg, 1999; Patterson & Marcel, 1992; Patterson, Suzuki & Wydell, 1996; Sasanuma, Ito, Patterson & Ito, 1996). Encore une fois, la théorie modulariste ne présente aucune propriété permettant de rendre compte de l'association systématique entre la dyslexie phonologique et des atteintes du traitement phonologique d'ordre plus général.

Comme nous l'avons vu dans la section sur les différentes dyslexies, il existe une importante co-occurrence de symptômes dans la dyslexie profonde. De nombreux auteurs croient à juste titre que cette explication est pour le moins peu parcimonieuse (Colheart, 1980) et ont donc suggéré une explication complètement différente. L'hypothèse retenue est que les erreurs de la dyslexie profonde proviennent d'une altération complète des capacités de lecture de l'hémisphère gauche. Les sujets ainsi dépourvus des mécanismes de lecture habituels doivent donc utiliser les capacités de l'hémisphère droit pour lire. Cette théorie pourrait être une alternative attrayante afin d'expliquer les erreurs des dyslexiques profonds. Toutefois, des résultats en imagerie cérébrale fonctionnelle (Price

et al., 1998) montrant des activités métaboliques similaires entre les sujets normaux et les patients dans une tâche de lecture viennent discréditer l'idée. De plus, l'observation d'un patient dyslexique profond qui aurait perdu toute capacité de lecture suite à une seconde lésion de l'hémisphère gauche (Roeltgen, 1987) permet de rejeter complètement l'hypothèse.

Les difficultés importantes que l'approche modulaire présente relativement à certains phénomènes de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie ont grandement contribué au développement d'un modèle alternatif (Seidenberg et McClelland, 1989) reposant sur l'approche du traitement parallèle et distribué (TPD). La prochaine section décrira les grandes lignes caractérisant l'approche TPD.

L'approche TPD

La théorie TPD est largement inspirée du fonctionnement du cerveau, et plus spécifiquement de celui des neurones, en vue d'expliquer le fonctionnement cognitif (McClelland et al, 1986; Rumelhart et al, 1986). La prémisse à la base de cette théorie est qu'une structure semblable à celle du cerveau devrait avoir des capacités semblables à celui-ci (O'Reilly & Munakata, 2000). Les modèles particuliers produits dans le cadre de l'approche TPD sont qualifiés de réseaux connexionistes (ou encore réseaux de neurones) puisqu'ils expliquent le fonctionnement cognitif à partir de l'interaction (en compétition et/ou en coopération) d'un grand nombre d'unités de traitement appelées neurones formels (Fig. 2). L'interaction entre ces différentes unités en vue de la réalisation d'une

tâche particulière par le réseau est gérée par la force des connexions qui peuvent soit être excitatrices (force positive) soit être inhibitrices (force négative). Ces connexions sont apprises et constituent une mémoire pour le réseau, celle-ci représentant les connaissances qu'il a acquises à partir de son expérience passée. Ainsi, une des particularités des réseaux connexionistes est que les connaissances ne sont pas séparées des processus de traitement. Une autre particularité des modèles issus de l'approche TPD est que leurs prédictions sont pratiquement toujours évaluées de façon formelle par le biais de simulations informatiques mettant en action le réseau connexioniste proposé. À cet égard, notons que cette démarche devient de plus en plus accessible avec la disponibilité d'excellents programmes conçus à cette fin (par ex. PDP++ décrit par O'Reilly & Munakata, 2000) et la croissance rapide de la capacité des micro-ordinateurs.

Insérer la Figure 2 près d'ici.

Dans cette article, nous nous limiterons à décrire les propriétés fonctionnelles des réseaux connexionistes sans aborder les aspects techniques et mathématiques inhérents à l'approche. Pour les lecteurs intéressés, il existe de nombreux ouvrages extrêmement pertinents (Ellis & Humphreys, 1999; McClelland & Rumelhart, 1986; O'Reilly & Munakata, 2000; Rumelhart & McClelland, 1986). Nous allons ici détailler six propriétés computationnelles importantes qui sont associées aux modèles connexionistes actuels, c'est-à-dire le type de représentations utilisé, la systématisme, les représentations internes

appries, la structure du réseau, l'apprentissage et enfin, le principe d'unicité de traitement.

Les représentations

Une question importante en psychologie concerne les caractéristiques des représentations utilisé par le système cognitif (voir Grainger & Jacobs., 1998). Dans les réseaux connexionistes, on distingue deux grandes classes de représentation :

a) L'utilisation de **représentations locales** implique que chaque unité de traitement (i.e. neurone formel) correspond à un concept en mémoire à long terme (par ex : une lettre, un mot, un sens; voir Page, 2000 pour un plaidoyer en faveur de ce type de représentations).

b) L'utilisation de **représentations distribuées** suppose que nos connaissances sont codées à travers un grand nombre d'unités de traitement. Par exemple, la représentation visuelle de la lettre « R » pourrait impliquer l'activation d'une unité pour représenter la barre verticale, l'activation d'une autre pour la barre oblique et enfin l'activation d'une troisième unité pour le demi-cercle.

La majorité des modèles connexionistes actuels utilisent des représentations distribuées. L'utilisation de ce type de représentation implique que deux stimuli similaires vont activer des patterns d'activité similaires au niveau des unités de traitement et chaque unité participe à la représentation de plusieurs concepts. En fait, la similarité

entre deux représentations sera fonction du nombre d'unités qui sont partagées entre les deux. La similarité est donc un concept inhérent aux réseaux distribués.

La systématique

La systématique concerne la structure relationnelle qui existe entre deux domaines de représentation. Pour effectuer une tâche cognitive, un réseau doit mettre en relation une représentation dans un domaine de connaissances avec la représentation correspondante dans un autre domaine. Par exemple, si un réseau doit apprendre à nommer des objets perçus visuellement, il devra développer des connexions lui permettant d'apparier efficacement les représentations visuelles et aux représentations phonologiques des objets correspondants.

En principe, la facilité avec laquelle un réseau réussit un appariement entre deux domaines de représentation dépend de la systématique de la relation entre ces deux domaines. Formellement, une relation est qualifiée de systématique quand un domaine de représentation préserve les rapports de similarité qui existent dans l'autre (McGuire & Plaut, 1997). Ainsi, dans la reconnaissance visuelle d'objets, la forme d'un objet permet plus facilement de déterminer l'action qui lui est typiquement associée que son nom, puisque les rapports forme-action sont plus systématiques que les rapports forme-nom (Caramazza et al., 1990; Hillis & Caramazza, 1995; Hillis et al., 1990). Par exemple, le fait de voir une anse sur le côté d'un petit bol peut nous renseigner sur le geste d'utilisation mais pas sur le nom de l'objet « tasse ».

La systématique est extrêmement importante dans un réseau connexioniste car ceux-ci ont une forte tendance à produire des réponses (i.e. sorties) similaires pour des entrées similaires. Nous allons voir plus loin que la systématique a des implications importantes sur le fonctionnement du réseau connexioniste de lecture proposé par Seidenberg et McClelland (1989).

Les représentations internes apprises

Un réseau qui tente un appariement extrêmement systématique entre deux domaines de représentation pourrait réussir celui-ci seulement avec des connexions directes entre les unités d'entrée et les unités de sortie (voir Harm, 1998 et Zorzi, Houghton & Butterworth, 1998 pour des exemples appliqués au domaine de la lecture). Toutefois, ce type de modèle est fortement handicapé s'il est confronté à des appariements plus complexes ou moins systématiques (Minsky & Papert, 1969). La solution classique à ce problème consiste à diviser le travail d'appariement entre les représentations d'entrée et de sortie en deux phases distinctes et ce, en ajoutant une couche d'unités cachées (i.e. unités n'ayant aucun contact avec l'environnement extérieur). De cette façon, le réseau développe des représentations à partir de ces unités cachées. Celles-ci seront à la fois similaires aux représentations d'entrée et à celles de sortie. De cette façon, les deux appariements dissociés (de la couche d'entrée à la couche cachée et de la couche cachée à la couche de sortie) seront plus systématiques (et donc plus faciles à réaliser) que l'appariement entrée-sortie en une étape unique.

La structure

La structure d'un réseau connexioniste réfère au nombre d'unités de traitement contenues dans le modèle, au nombre de couches d'unités ainsi qu'aux interconnexions entre les différentes couches et les différents neurones. Deux formes majeures sont actuellement utilisées en psychologie : les réseaux ascendants et les réseaux récurrents.

Les **réseaux ascendants** sont certainement les plus simples à produire et à comprendre. Leur fonctionnement implique qu'une couche de neurones formels peut seulement propager son activation vers la couche d'unités suivante. Ce type de modèle ne permet pas de connexion vers les couches d'unités précédentes (connexions descendantes) ou entre les neurones d'une même couche (Fig. 3a).

Insérer la Figure 3 près d'ici.

Les **réseaux récurrents** (Elman, 1990), pour leur part, permettent des connexions de tous types. Il est donc possible que les neurones d'une couche soit connectés avec les neurones de la couche d'unités précédente (descendante), de la couche suivante (ascendante) et également entre eux (figure 3b).

L'apprentissage

L'apprentissage constitue certainement l'une des questions majeures à élucider afin d'en arriver à une théorie cognitive satisfaisante. Comme nous le savons, le cerveau du nouveau-né humain contient une grande quantité de connexions indifférenciées. L'apprentissage, au niveau neural, consistera donc à éliminer de nombreuses connexions et en ajuster d'autres afin de créer un réseau permettant une propagation de l'activité électrique qui est efficace en vue des fonctions à remplir.

Les réseaux neuronaux utilisant des représentations distribuées tentent de simuler l'apprentissage humain de façon similaire. En effet, une de leurs forces est leur capacité à apprendre à partir de l'expérience passée. L'apprentissage dans un réseau de neurones se manifeste à travers la modification successive des forces des connexions entre les unités de traitement. Ces modifications permettent au réseau d'améliorer sa performance dans la tâche qu'il doit exécuter. La majorité des modèles actuels utilise un apprentissage dit « supervisé ». Ce type d'apprentissage implique la présence d'un « professeur » qui supervise la réponse du réseau à un stimulus donné. Le « professeur » donne ensuite la réponse correcte au réseau et ce dernier modifie ces forces de connexions afin que la réponse réelle du réseau devienne graduellement aussi similaire que possible à celle attendue (voir Rumelhart, Hinton & William, 1986 pour une description de la règle de rétro-propagation de l'erreur).

L'unicité du traitement

Un dernier principe qui est adopté de façon quasi-universelle par les chercheurs de l'approche TPD est que tous les items d'une tâche sont traités par les mêmes structures du

réseau (Plaut & Gonnerman, 2000; Rumelhart & McClelland, 1987; Seidenberg & McClelland, 1989). Dans la section qui suit nous allons voir que cette propriété distingue de façon évidente le réseau connexioniste du modèle à deux voies vu précédemment.

L'approche connexioniste de la lecture et des dyslexies acquises

L'avènement de l'approche TPD et des réseaux connexionistes qui en originent ont donné lieu, au cours des dernières années, à une modification importante des théories cognitives de la lecture et des dyslexies acquises (Harm, 1998; Hinton & Shallice, 1991; Patterson & al, 1996; Plaut, Seidenberg, McClelland & Patterson, 1996; Plaut & Shallice, 1993; Seidenberg & McClelland, 1989; Stone & Van Orden, 1994 ; Van Orden, Pennington & Stone, 1990 ; Zorzi, Houghton & Butterworth, 1998). Nous allons ici nous concentrer particulièrement sur le modèle triangulaire de Seidenberg & McClelland (1989) et ses successeurs. Ce modèle est certainement le plus achevé à l'heure actuelle et, selon les évaluations disponibles (Harm, 1998), ses capacités à expliquer les observations empiriques existantes sont excellentes.

Dans un article très influent, Seidenberg et McClelland (1989) ont soumis l'idée que l'ensemble des phénomènes observés en lecture pouvait être expliqué par un modèle connexioniste (Fig. 4) mettant en interaction des domaines de connaissances anciens tant au plan phylogénétique qu'ontogénétique. Ils ont suggéré trois domaines de

représentation; la vision (i.e. le domaine de l'orthographe), le langage oral (i.e. la phonologie) et ainsi que notre capacité à comprendre le monde qui nous entoure (i.e. la sémantique). Selon ces auteurs, l'interaction et la coopération (voir Harm, 1998 pour une élaboration de l'idée de collaboration) entre ces trois domaines supporteraient notre capacité de prononcer et de comprendre le matériel écrit. C'est de cette structure du modèle (voir Fig. 4) qu'origine l'appellation "modèle triangulaire". Une autre caractéristique fort importante du modèle consiste en l'utilisation de représentations distribuées, faisant en sorte que chaque unité de traitement du réseau connexioniste n'a la capacité de représenter qu'un fragment de mot (i.e. unités de traitement sous-lexicales).

Insérer la Figure 4 près d'ici.

Afin d'évaluer la validité de leur proposition, Seidenberg et McClelland ont effectué une simulation informatique de leur modèle. Compte tenu des limites du moment quant aux équipements informatiques disponibles, ils ont concentré leurs efforts sur la voie orthographe à phonologie. Ils ont d'abord entraîné le réseau avec la méthode d'apprentissage par rétro-propagation afin que les poids des connexions entre ces domaines de représentation soient appropriés pour la réalisation de la tâche de lecture, pour ensuite en évaluer les performance sur un vaste ensemble de mots. Les résultats obtenus ont été extrêmement prometteurs. Le premier résultat majeur était la capacité du modèle à lire autant les mots réguliers que les mots irréguliers et ce alors que le modèle

ne dispose d'aucune connaissance lexicale locale ou explicite. De plus, le modèle s'est avéré en mesure de reproduire avec justesse les effets interactifs de la fréquence de mots et de régularité qui avaient été documentés précédemment chez les lecteur normaux (i.e. effet de régularité exclusif aux mots de basse fréquence).

Suite à la publication du modèle de Seidenberg et McClelland (1989), certains auteurs ont soulevé des problèmes significatifs relativement à ses performances (Besner, 1999; Besner, Twilley, McCann & Seergobin, 1990; Coltheart, Curtis, Atkins & Haller, 1993, Spieler & Balota, 1997; Weekes, 1997). Certainement le problème le plus important est lié au fait que le modèle éprouvait des difficultés majeures dans la lecture de pseudo-mots. Ainsi, ses performances se situaient entre 51 % et 65 % de réponse correctes pour ces stimuli, ce qui en faisait un cas pur de dyslexie phonologique!

Heureusement pour les tenants de l'approche TPD, Plaut et al. (1996) ont démontré par la suite que les faibles performances du modèle de Seidenberg et McClelland en lecture de pseudo-mots résultent d'une déficience au niveau des caractéristiques particulières des représentations phonologiques utilisées. Les ajustements à ce niveau qui ont été effectués par Plaut et al. (1996) ont donné lieu à la démonstration que la structure du réseau connexioniste proposée par de Seidenberg et McClelland permet une capacité de lecture de pseudo-mots similaire à celle de sujets normaux.

Plus récemment, à travers un grand nombre de tests, Harm (1998) a démontré la capacité du modèle triangulaire complet (i.e. impliquant l'action conjointe des trois

domaines de représentation postulés initialement par Seidenberg et McClelland) à répliquer un vaste ensemble de données empiriques fondamentales dans le domaine de la lecture (i.e. effet de régularité, effet de fréquence, interaction fréquence x régularité, effet d'imageabilité en dénomination, effet de la classe grammaticale, effet d'homophonie et effets de masquage). L'une des démonstrations particulièrement importantes des travaux de Harm consiste dans l'apport important de la voie sémantique à phonologie pour la résolution de l'ambiguïté de prononciation de mots irréguliers, en particulier ceux de basse fréquence. Par contre, la contribution sémantique à la prononciation des mots réguliers ou des pseudo-mots est faible ou nulle. En conséquence des démonstrations les plus récentes, le consensus actuel est à l'effet que le modèle connexioniste triangulaire offre une explication satisfaisante des processus en jeu dans la lecture chez le sujet normal. Voyons maintenant comment il explique les différentes dyslexies acquises discutées plus haut.

Dyslexies de surface et sémantique

Comme nous l'avons vu précédemment, la grande majorité des patients dyslexiques de surface éprouvent également une anomie qui peut être attribuée à des difficultés d'ordre sémantique ou encore dans l'activation de la phonologie à partir de la sémantique. Alors que cette association de symptômes s'avère problématique pour le modèle modulaire, elle est entièrement congruente avec le modèle connexioniste décrit plus haut. En effet, dans ce modèle, la voie orthographe à phonologie s'avère efficace à elle seule pour la lecture des pseudo-mots, des mots réguliers et des mots irréguliers de haute fréquence. Par contre, pour la lecture des mots irréguliers de basse fréquence, le

système phonologique doit recevoir de l'aide provenant de la sémantique afin de trouver la bonne prononciation (Harm, 1998; Patterson et al., 1996). Or, c'est justement ce type de support provenant de la sémantique qui fait défaut dans les cas (fortement majoritaires) de dyslexie de surface accompagnée d'anomie.

Deux types d'atteintes peuvent donner lieu à une dyslexie de surface dans le modèle triangulaire; soit la perte d'unités au niveau du module sémantique, soit la perte de connexions entre ce domaine de représentation et celui de la phonologie. Sur le plan fonctionnel, l'effet de ces atteintes est de diminuer l'apport de la voie sémantique à l'obtention d'une représentation phonologique du matériel écrit. Les simulations effectuées à partir d'un modèle présentant l'une ou l'autre de ces atteintes offrent des résultats très clairs (Harm, 1998; Patterson et al., 1996; Plaut et al., 1996). Le modèle endommagé éprouve plus de difficultés à lire les mots irréguliers que les mots réguliers. De plus, le modèle lésé présente un profil comportemental similaire à celui des patients dyslexiques de surface. Ainsi, il éprouve de grandes difficultés avec les mots irréguliers de basse fréquence alors que les mots irréguliers de haute fréquence, les mots réguliers ainsi que les pseudo mots sont lus avec efficacité. Ces résultats confirment l'intuition initiale de Seidenberg & McClelland (1989) et les observations de Harm (1998) quant aux capacités de la voie directe orthographe à phonologie et à la contribution particulière de la voie sémantique pour la lecture de mots irréguliers et rares.

Un point qui peut sembler problématique pour le modèle triangulaire est le postulat qu'une lésion sémantique produira une dyslexie de surface. Quel type de lésion pourrait

alors créer une dyslexie sémantique? Pour répondre à cette question,, Plaut et al. (1996) ainsi que Harm (1998) s'appuient sur l'hypothèse de différences individuelles au niveau de la division du travail entre les deux voies de traitement du modèle triangulaire. Selon eux, la majorité des lecteurs normaux utilisent prioritairement la voie directe orthographe-phonologie pour lire, mais qu'une contribution de la voie sémantique est nécessaire afin de d'en arriver à une activation phonologique adéquate pour les mots irréguliers peu fréquents. Chez ces individus, une atteinte de la voie sémantique du modèle provoquerait une dyslexie de surface. Toutefois, Plaut et al. et Harm proposent également que certains lecteurs normaux particulièrement habiles disposent d'une voie orthographe-phonologie si efficace que l'appui sémantique pour la lecture de mots irréguliers de basse fréquence ne serait pas nécessaire. Chez ces personnes, une atteinte de la voie sémantique ne causerait pas de difficulté particulière à la lecture de mots irréguliers, mais entraînerait par contre des difficultés de compréhension; i.e. une dyslexie sémantique. Les simulations informatiques rapportées appuient la plausibilité de cette hypothèse, mais celle-ci reste à évaluer empiriquement.

Dyslexie phonologique

Tel qu'indiqué précédemment, la dyslexie phonologique semble être systématiquement associée à des déficits phonologiques généralisés, i.e. qui sont apparents dans des tâches autres que la lecture, comme par exemple la répétition de stimuli présentés oralement. Cette association de symptômes, problématique pour le

modèle modulaire, semble découler naturellement des propriétés du modèle connexioniste triangulaire. Ainsi, l'avantage des mots sur les pseudo-mots qui caractérise la dyslexie phonologique s'expliquerait par le fait que les pseudo-mots ont une représentation phonologique plus fragile, ou moins stable que les mots connus. Comme Harm & Seidenberg (2001) le soulignent, deux raisons majeures expliqueraient cette différence; 1- la représentation phonologique des pseudo-mots est, par définition moins familière et; 2- la lecture des pseudo-mots ne peut bénéficier d'aucun appui de la part du système sémantique, contrairement aux mots connus qui, évidemment, y sont représentés.

Un appui à cette explication nous provient des premières simulations produites par Seidenberg et McClelland (1989) représentations phonologiques reconnues plus tard (Plaut et al., 1996) comme déficientes. En effet, ce réseau connexioniste qu'ils ont développé présentait des difficultés importantes dans la lecture de pseudo-mots et il a été reconnu par la suite que ses représentations phonologiques étaient déficientes (Plaut et al., 1996). Ceci correspond donc précisément à l'explication de la dyslexie phonologique en termes d'une atteinte phonologique généralisée.

À travers d'autres simulations, Harm et Seidenberg (2001) ont créé des dommages au réseau au niveau des unités phonologiques. Ces lésions virtuelles donnent lieu à des performances de lecture semblables à celles caractérisant les dyslexiques phonologiques. Une propriété particulièrement intéressante du réseau de Harm et Seidenberg présentant une dyslexie phonologique est que ses performances en lecture de pseudo-mots sont sensibles à la complexité graphémique des stimuli. Autrement dit, le réseau commet

moins d'erreurs avec des pseudo-mots orthographiquement simples (comme ABO) qu'avec ceux qui sont orthographiquement complexes (comme PHEBE, qui exige le regroupement de ses deux premières lettres pour produire le premier phonème du stimulus). L'intérêt de cette propriété émergente est qu'elle a déjà été documentée auprès de patients avec une dyslexie phonologique (Howard et Best, 1996) et que celle-ci a été décrite comme en contradiction à l'explication du désordre en termes d'une atteinte affectant seulement le traitement phonologique (Coltheart, 1996).

Harm et Seidenberg (2001) expliquent pourquoi l'effet de complexité graphémique émerge de leurs simulations à travers une analogie illustrant comment un réseau de neurones faisant le pont entre orthographe et phonologie peut s'avérer sensible à ce facteur:

Considérez une partie de golf où le but du prochain coup est d'atteindre le vert directement à partir de notre position actuelle. La difficulté du coup est affectée par la distance entre notre balle et le vert (par ex. 30 ou 60 mètres) mais la cible demeure la même. Un golfeur habile peut réussir les deux coups même si le plus long est plus difficile et demande plus d'habileté. Supposez maintenant que le vert est dégradé d'une certaine manière : soit qu'il est plus petit ou que le vert est endommagé par d'autres joueurs. Le même golfeur à partir des mêmes points de départ pourrait réussir le coup facile mais rater le plus difficile. Ainsi les propriétés de la cible (la qualité de la phonologie) ont interagi

avec les facteurs d'entrée (la complexité graphémique) telles que la position de départ de la balle et les qualités du golfeur.

Dyslexie profonde

Hinton & Shallice (1991) ainsi que Plaut & Shallice (1993) ont proposé une théorie connexioniste extrêmement intéressante de la dyslexie profonde. Ces auteurs se sont particulièrement intéressés à la variété des types d'erreurs caractérisant le désordre (i.e. erreurs sémantiques, visuelles et visuo-sémantiques). Ils ont conçu des réseaux de neurones qui tentent de faire le pont entre une représentation orthographique acquise visuellement et une représentation sémantique correspondante, qui constitue ici la réponse attendue, à partir des principes computationnels suivants (voir également McLeod, Shallice & Plaut, 2000) :

a) Les représentations orthographiques et sémantiques sont distribuées sur des groupes distincts d'unités (une certaine forme de modularité). Le principe de similarité est pris en compte à l'intérieur des deux domaines mais pas entre les domaines. Autrement dit, les correspondances entre les domaines de l'orthographe et de la sémantique sont non-systématiques. Ceci est congruent avec les propriétés du langage naturel où, hormis certaines morphologies particulières, la relation entre orthographe et sémantique est arbitraire.

b) La relation entre orthographe et sémantique est accomplie à travers le fonctionnement d'un réseau dynamique utilisant des attracteurs.

Comme nous l'avons vu dans la section sur les réseaux de neurones, ceux-ci tendent à donner une réponse similaire pour une entrée similaire. Dans le cas de la relation arbitraire existant entre l'orthographe et la sémantique, cette particularité des réseaux connexionistes est problématique. En effet, alors que les mots NOCE et NOTE ont des orthographe similaires, leur similarité sémantique est très faible. Le mot RÉSULTAT, quant à lui, est distinct de NOTE au niveau orthographique lui est similaire au niveau sémantique. L'utilisation d'attracteurs (Fig. 5) permet néanmoins au réseau de réussir la tâche d'appariement orthographe-à-sémantique en abaissant les exigences au niveau des résultats attendus à partir de la voie ascendante directe. En effet, même si cette dernière donne initialement une interprétation erronée de l'input, les attracteurs balaieront graduellement, avec un certain passage du temps, l'activation sémantique vers sa position correcte dans l'espace sémantique (Plaut & Shallice, 1993).

Insérer la Figure 6 près d'ici.

La découverte principale de Hinton et Shallice et de Plaut et Shallice a été de montrer que, quelque soit l'endroit où le réseau est lésé, les erreurs produites par celui-ci tendent à reproduire la co-occurrence d'erreurs sémantiques (donne la réponse /banan/

pour le mot pomme), visuelles (donne la réponse /som/ pour le mot « pomme ») et visuo-sémantique (donne la réponse /lavabo/ pour le mot « lavage ») observée chez les patients. Plaut et Shallice ont également démontré l'importance cruciale des attracteurs dans le pattern d'erreurs produit par le réseau endommagé. Ainsi, les erreurs d'interprétation d'un mot surviennent parce que le dommage fait au réseau corrompt l'entrée qui est offerte au système sémantique, augmentant ainsi la probabilité qu'un mot soit saisi par un attracteur sémantique correspondant à mot qui lui est similaire (soit visuellement ou sémantiquement, ou les deux).

Une des implications du modèle connexioniste discuté ici relativement à la dyslexie profonde est qu'il devrait être possible que les sujets normaux produisent des erreurs sémantiques lorsque les conditions de stimulation sont particulièrement difficiles. McLeod, Shallice et Plaut (2000) ont testé cette prédiction en demandant à des lecteurs normaux d'effectuer une tâche de jugement sémantique alors que les mots présentés ne sont visibles que très brièvement. La tâche est la suivante: vingt mots sont présentés en succession rapide sur une période de trois secondes, et le sujet doit indiquer si la liste contenait un mot appartenant à la classe des « objets qui ne se retrouvent habituellement pas dans une maison ». Dans le cas où le sujet répond positivement, on lui demande d'identifier le mot. Les résultats démontrent l'occurrence d'un nombre significatif d'erreurs sémantiques (McLeod, Shallice & Plaut, 2000). De façon congruente, le modèle connexioniste avec attracteurs sémantiques (intact) répond de façon similaire à celle des lecteurs normaux s'il est exposé à des conditions de stimulation aussi exigeantes.

Conclusion

Dans le présent article, nous avons relaté les principaux faits illustrant la contribution de l'approche TPD à notre compréhension de la lecture normale et de ses atteintes pouvant faire suite à une lésion cérébrale. Cette approche s'est avérée très efficace pour démontrer les mécanismes en jeu dans ces différents phénomènes. Il est à souligner à cet égard que les observations neuropsychologiques obtenues auprès de patients cérébrolésés ont joué un rôle déterminant dans la démonstration de l'intérêt et de l'utilité de l'approche connexioniste. En effet, celle-ci permet non seulement une explication relativement complète d'une grande variété de troubles acquis de la lecture, mais également, à travers les propriétés émergentes des réseaux de neurones, de rendre compte de symptômes associés qui se sont avérés très problématiques pour le modèle modulaire. D'autres démonstrations de l'intérêt de l'approche TPD pour notre compréhension de la cognition humaines ont été produites dans des domaines aussi divers que l'attention, la mémoire, la reconnaissance d'objets, etc. (Farah & McClelland, 1991; McClelland, McNaughton & O'Reilly, 1995, Mozer, 2002; Plaut, sous presse; Sitton, Mozer & Farah, 2001;).

L'approche TPD est essentiellement définie par l'utilisation de réseaux connexionistes constitués d'un vaste ensemble de neurones formels (qui en sont l'unité fonctionnelle élémentaire) interconnectés entre eux d'une manière organisée. Cette approche n'est pas à l'abri des critiques, notamment en ce qui concerne sa caractérisation de ses neurones formels qui est simplifiée à l'excès relativement aux propriétés beaucoup

plus riches des neurones biologiques. Il est fort probable que cette simplification excessive soit fonction de la jeunesse de la discipline et des limites des outils informatiques présentement disponibles. Quoiqu'il en soit, les principes à la base de l'approche sont modelés sur ceux principalement responsables du fait que, du cerveau humain, émerge l'être psychologique que nous connaissons (ou plutôt que nous cherchons à connaître). Il s'agit donc d'un outil théorique très puissant dont l'étendue des applications est susceptible de rapidement déborder le domaine de la cognition et s'étendre à une grande variété d'autres dimensions de la psychologie humaine.

RÉFÉRENCES

- Beauvois, M. F., & Derouesné, J. (1979). Phonological alexia: Three dissociations. Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, *42*, 1115-1124.
- Besner, D. (1999). Basic process in reading : Multiple routines in localist and connectionist models. In Raymond M. Klein & Patricia A. McMullen (Eds.), Converging methods for understanding reading and dyslexia. Language, speech and communication. (pp. 413-458). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Besner, D., Twilley, L., McCann, R.S., & Seergobin, K. (1990). On the connection between connectionism and data: Are a few words necessary? Psychological Review, *97*, 432–446.
- Caramazza, A., Hillis, A. E., Rapp, B. C., & Romani, C. (1990). The multiple semantics hypothesis: Multiple confusions? Cognitive Neuropsychology, *7*, 161-189.
- Cipolotti, L., & Warrington, E.K. (1995). Semantic memory and reading abilities: A case report. Journal of the International Neuropsychological Society, *1*, 104–110.
- Coltheart, M. (1980). Deep dyslexia: A right-hemisphere hypothesis. In M. Coltheart, K. E. Patterson, & J. C. Marshall (Eds.), Deep dyslexia (pp. 326–380). London: Routledge & Kegan Paul.

Coltheart, M. (1996). Phonological dyslexia: Past and future issues. Cognitive Neuropsychology, 13(6), 749-762.

Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual route and parallel-distributed-processing approaches. Psychological Review, 100(4), 589-608.

Coltheart, M. Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. & Ziegler, J. (2001). DRC : A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. Psychological Review, 108(1), 204-256.

Coslett, H.B. (1991). Read but not write “idea”: Evidence for a third reading mechanism. Brain and Language, 40, 425–443.

Derouesné, J., & Beauvois, M. F. (1979). Phonological processing in reading: data from alexia. Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 42, 1125-1132.

Ellis, A.W. & Young, A.W. (1996). Human cognitive neuropsychology. A textbook with readings. Hove, England : Psychology Press, UK.

Ellis, R. & Humphreys, G.W. (1999). Connectionist psychology : A text with reading. Hove, England : Psychology Press, UK.

Elman, J. L. (1990). Finding structure in time. Cognitive Science, 14, 179–211.

Farah, M. J., & McClelland, J. L. (1991). A computational model of semantic memory impairment: Modality-specificity and emergent category-specificity. Journal of Experimental Psychology: General, 120, 339-357.

Farah, M. J., Stowe, R. M., & Levinson, K. L. (1996). Phonological dyslexia: Loss of a reading-specific component of the cognitive architecture? Cognitive Neuropsychology, 13(6), 849- 868.

Fodor, J. A. (1983). The modularity of mind. Cambridge, MA: MIT Press.

Glushko, R. J. (1979). The organization and activation of orthographic knowledge in reading aloud. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 5(4), 674–691.

Grainger, J. & Jacobs, A.M. (1998). Localist connectionist approach to human cognition. Mahwah, NJ, US. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Harm, M.W. (1998). Division of Labor in a Computational Model of Visual Word Recognition. Unpublished doctoral dissertation, University of Southern California, Los Angeles, CA.

Harm, M.W. & Seidenberg, M.S. (2001). Are There Orthographic Impairments in Phonological Dyslexia ? Cognitive Neuropsychology, 18(1), 71-92.

Henderson, L. (1982). Orthography and Word Recognition in Reading. London: Academic Press.

Hillis, A. E., & Caramazza, A. (1995). Cognitive and neural mechanisms underlying visual and semantic processing: Implications from optic aphasia. Journal of Cognitive Neuroscience, 7(4), 457-478.

Hillis, A. E., Rapp, B., Romani, C., & Caramazza, A. (1990). Selective impairments of semantics in lexical processing. Cognitive Neuropsychology, 7, 191-243.

Hinton, G. E., & Shallice, T. (1991). Lesioning an attractor network: Investigations of acquired dyslexia. Psychological Review, 98(1), 74-95.

Howard, D., & Best, W. (1996). Developmental phonological dyslexia: Real word reading can be completely normal. Cognitive Neuropsychology, 13(6), 887-934.

Humphreys, G. W., & Evett, L. J. (1985). Are there independent lexical and non-lexical routes in word processing? An evaluation of the dual-route theory of reading. Behavioral and Brain Sciences, 8, 689-740.

Jared, D., McRae, K., & Seidenberg, M. S. (1990). The basis of consistency effects in word naming. Journal of Memory and Language, *29*, 687–715.

Kay, J., & Marcel, A. J. (1981). One process, not two, in reading aloud: Lexical analogies do the work of non-lexical rules. Quarterly Journal of Experimental Psychology, *33A*, 397–414.

Lambon Ralph, M., Ellis, A.W., & Franklin, S. (1995). Semantic loss without surface dyslexia. Neurocase, *1*, 363–369.

Marcel, T. (1980). Surface dyslexia and beginning reading: A revised hypothesis of the pronunciation of print and its impairments. In M. Coltheart, K. Patterson, & J. C. Marshall (Eds.), Deep dyslexia (pp. 227–258). London: Routledge & Kegan Paul.

Marshall, J. C., & Newcombe, F. (1966). Syntactic and semantic errors in paralexia. Neuropsychologia, *4*, 169–176.

Marshall, J. C., & Newcombe, F. (1973). Patterns of paralexia: A psycholinguistic approach. Journal of Psycholinguistic Research, *2*, 175–199.

McClelland, J. L., McNaughton, B. L., & O'Reilly, R. C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: Insights from

the successes and failures of connectionist models of learning and memory. Psychological Review, 102(3), 419-437.

McClelland, J. L., Rumelhart, D. E., & the PDP research group (Eds.). (1986). Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. Volume 2: Psychological and biological models. Cambridge, MA: MIT Press.

McLeod, P., Shallice, T., and Plaut, D. C. (2000). Visual and semantic influences in word recognition: Converging evidence from acquired dyslexic patients, normal subjects, and a computational model. Cognition, 74, 91-114.

McGuire & Plaut (1997). Systematicity and Specialization in Semantics: A Computational Account of Optic Aphasia. In Proceedings of the 19th Annual Conference of the Cognitive Science Society.

Minsky, M., & Papert, S. (1969). Perceptrons: An introduction to computational geometry. Cambridge, MA: MIT Press.

Mozer, M. C. (2002). Frames of reference in unilateral neglect and spatial attention : A computational perspective. Psychological Review, 109, 156-185.

O'Reilly, R.C. & Munakata, Y. (2000). Computational explorations in cognitive neuroscience. Cambridge, MA: MIT Press.

Page, M. (2000). Connectionist Modelling in Psychology: A localist Manifesto
Behavioral and Brain Sciences 23 (4), 443-512.

Parkin, A. J. (1982). Phonological recoding in lexical decision: Effects of spelling-to-sound regularity depend on how regularity is defined. Memory and Cognition, 10, 43–53.

Patterson, K., & Marcel, A. J. (1992). Phonological ALEXIA or PHONOLOGICAL alexia? In J. Alegria, D. Holender, J. Junça de Morais, & M. Radeau (Eds.), Analytic approaches to human cognition (p. 259-274). New York: Elsevier.

Patterson, K. E., Marshall, J. C., & Coltheart, M. (Eds.). (1985). Surface dyslexia : Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading. London: Erlbaum.

Patterson, K., Plaut, D.C., McClelland, J.L., Seidenberg, M.S., Behrmann, M. & Hodge, J.R. (1996). Connections and disconnections: a connectionist account of surface dyslexia. Dans J. Reggia, R. Berndt, & E. Ruppin (Eds.), Neural modeling of cognitive and brain disorders (pp. 177–199). New York: World Scientific.

Patterson, K., Suzuki, T., & Wydell, T. N. (1996). Interpreting a case of Japanese phonological alexia: The key is in phonology. Cognitive Neuropsychology, 13, 803-822.

Peereman, R. & Content, A. (1997). Orthographic and phonological neighbourhoods in naming : Not all neighbors are equally influential in orthographic space. Journal of Memory and Language, 37, 382-410.

Plaut, D.C. (sous presse). Graded Modality-Specific Specialization in Semantics: A Computational Account of Optic Aphasia. Cognitive Neuropsychology.

Plaut, D. C. & Gonnerman, L. M. (2000) Are non-semantic morphological effects incompatible with a distributed connectionist approach to lexical processing? Language and Cognitive Processes, 15, 445-485.

Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. Psychological Review, 103, 56-115.

Plaut, D.C. & Shallice, T. (1993). Deep dyslexia: A case study of connectionist neuropsychology. Cognitive Neuropsychology, 10(5), 377-500.

Price, C.J., Howard, D., Patterson, K., Warburton, E.A., Friston, K.J. & Frackowiak, R.S.J. (1998). A functional neuroimaging description of two deep dyslexic patients.

Journal of Cognitive Neuroscience, 10(3), 303-315.

Roeltgen, D.P. (1987). Loss of deep dyslexia reading ability from a second left hemisphere lesion. Archives of Neurology, 44, 346-348.

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. Nature, 323(9), 533– 536.

Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., & the PDP research group (Eds.). (1986). Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. Volume 1: Foundations. Cambridge, MA: MIT Press.

Rumelhart, D.E. & McClelland, J.L. (1987). Learning the past tenses of English verbs : Implicit rules or parallel distributed processing? Dans B. MacWhinney (Ed.), Mechanisms of language acquisition (pp. 195-248). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Sasanuma, S., Ito, H., Patterson, K., & Ito, T. (1996). Phonological alexia in Japanese: A case study. Cognitive Neuropsychology, 13(6), 823-848.

Schwartz, M.F., Saffran, E.M., & Marin, O.S.M. (1980). Fractioning the reading process in dementia: Evidence for word-specific print-to-sound associations. In M. Coltheart, K. Patterson, & J.C. Marshall (Eds), Deep dyslexia, pp. 259–269. London: Routledge and Kegan Paul.

Seidenberg, M. S. (1988). Cognitive neuropsychology and language: The state of the art. Cognitive Neuropsychology, 5(4), 403-426.

Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. Psychological Review, 96(4), 523-568.

Shallice, T. (1988). From neuropsychology to mental structure. Cambridge: Cambridge University Press.

Sitton, M., Mozer, M. C., & Farah, M. (2000). Superadditive effects of multiple lesions in a connectionist architecture: Implications for the neuropsychology of optic aphasia. Psychological Review, 107, 709-734.

Spieler, D. H., & Balota, D. A. (1998). Bringing computational models of word naming down to the item level. Psychological Science, 8, 411–416

Stone, G. O., & Van Orden, G. C. (1994). Building a resonance framework for word recognition using design and system principles. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20(6), 1248.

Van Orden, G. C., Pennington, B. F., & Stone, G. O. (1990). Word identification in reading and the promise of subsymbolic psycholinguistics. Psychological Review, 97(4), 488–522.

Waters, G. S., & Seidenberg, M. S. (1985). Spelling-sound effects in reading: Time course and decision criteria. Memory and Cognition, 13, 557–572.

Weekes, B. S. (1997). Differential effects of number of letters on word and nonword naming latency. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 50A, 439-456.

Zorzi, M., Houghton, G., & Butterworth, B. (1998). Two routes or one in reading aloud? A connectionist dual-process model. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24(4), 1131-1161.

REMERCIEMENTS

Les travaux du laboratoire de Martin Arguin sont appuyés financièrement par le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada, par les Instituts de Recherche en Santé du Canada, et par Fonds de la Recherche sur la Nature et les Technologies du Québec. Martin Arguin est chercheur-boursier du Fonds de la Recherche en Santé du Québec.

LEGENDES DES FIGURES

Figure 1. Modèle modulaire de la lecture (selon Ellis & Young, 1996)

Figure 2. Exemple d'unités formelles et leurs connexions. Les unités d'entrée se connectent avec les unités de sortie afin d'accomplir la tâche à laquelle elles sont assignée. Le « S » à l'intérieur des unités représentent la fonction d'activation des unités (la fonction sigmoïde fréquemment utilisée est représentée ici).

Figure 3 : Différentes architectures connexionistes. Chaque rectangles représentent les couches d'unités (représentées par les cercles) et les flèches représentent les connexions entre les couches (flèches noires – connexions ascendantes ; flèches grises – connexions récurrentes). a) Réseau exclusivement ascendant. b) Réseau récurrent (connexions ascendante, descendante et intra-niveau). (selon Sitton, Mozer & Farah, 2001).

Figure 4. Architecture triangulaire de la lecture proposée par Seidenberg & McClelland (1989).

Figure 5. Utilisation des attracteurs dans la conversion orthographe à sémantique (voir Plaut & Shallice, 1993).

FIGURES

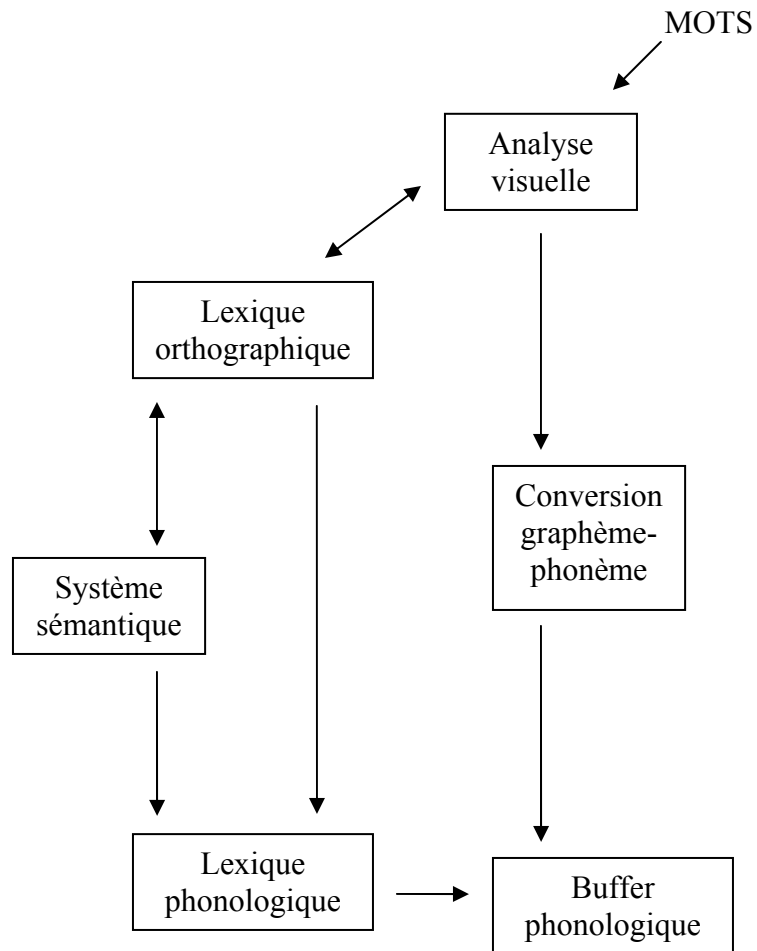


Fig. 1 -- Fiset et Arguin

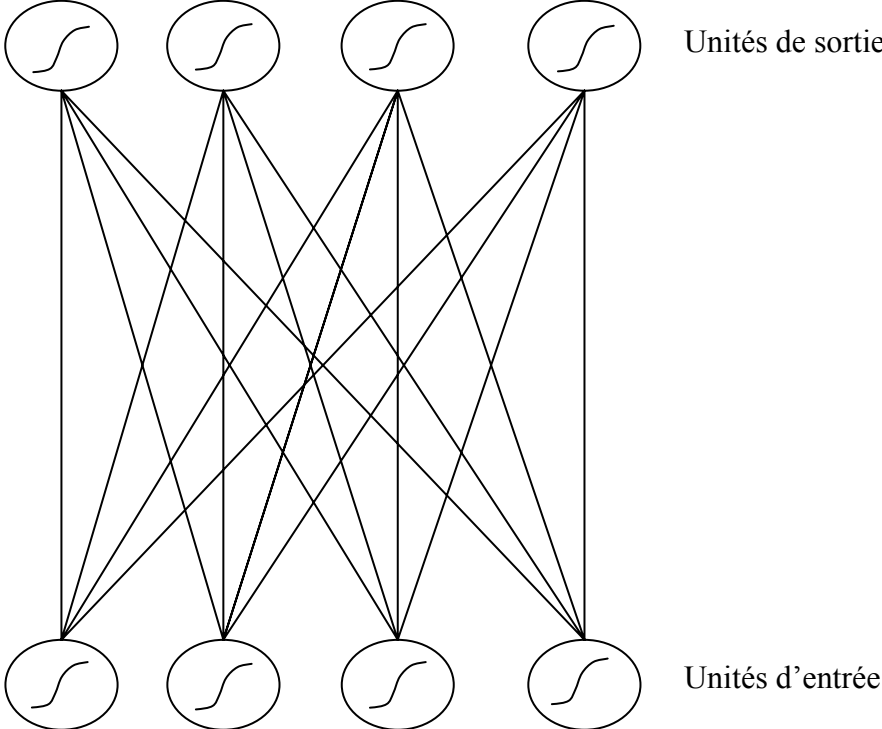


Fig. 2 -- Fiset et Arguin

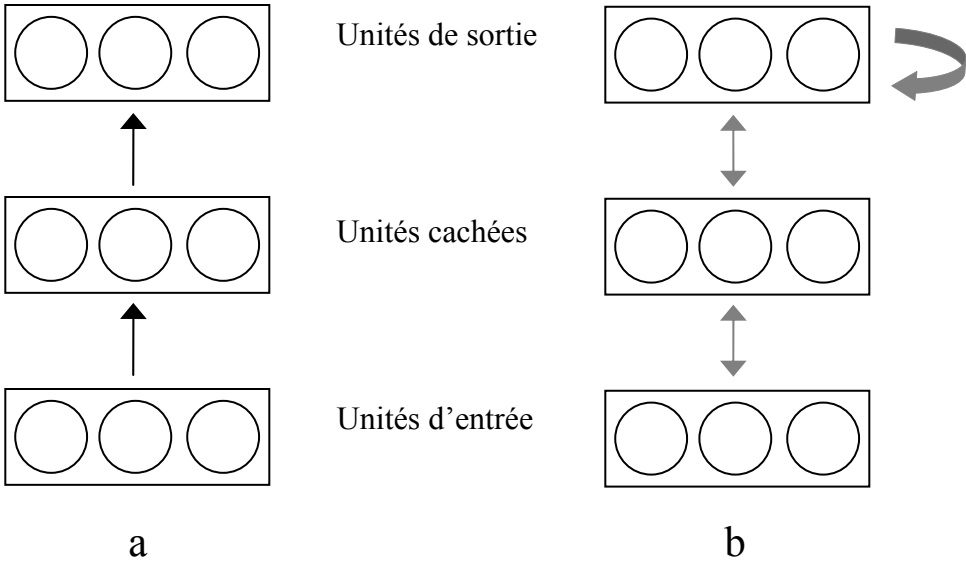


Fig. 3 -- Fiset et Arguin

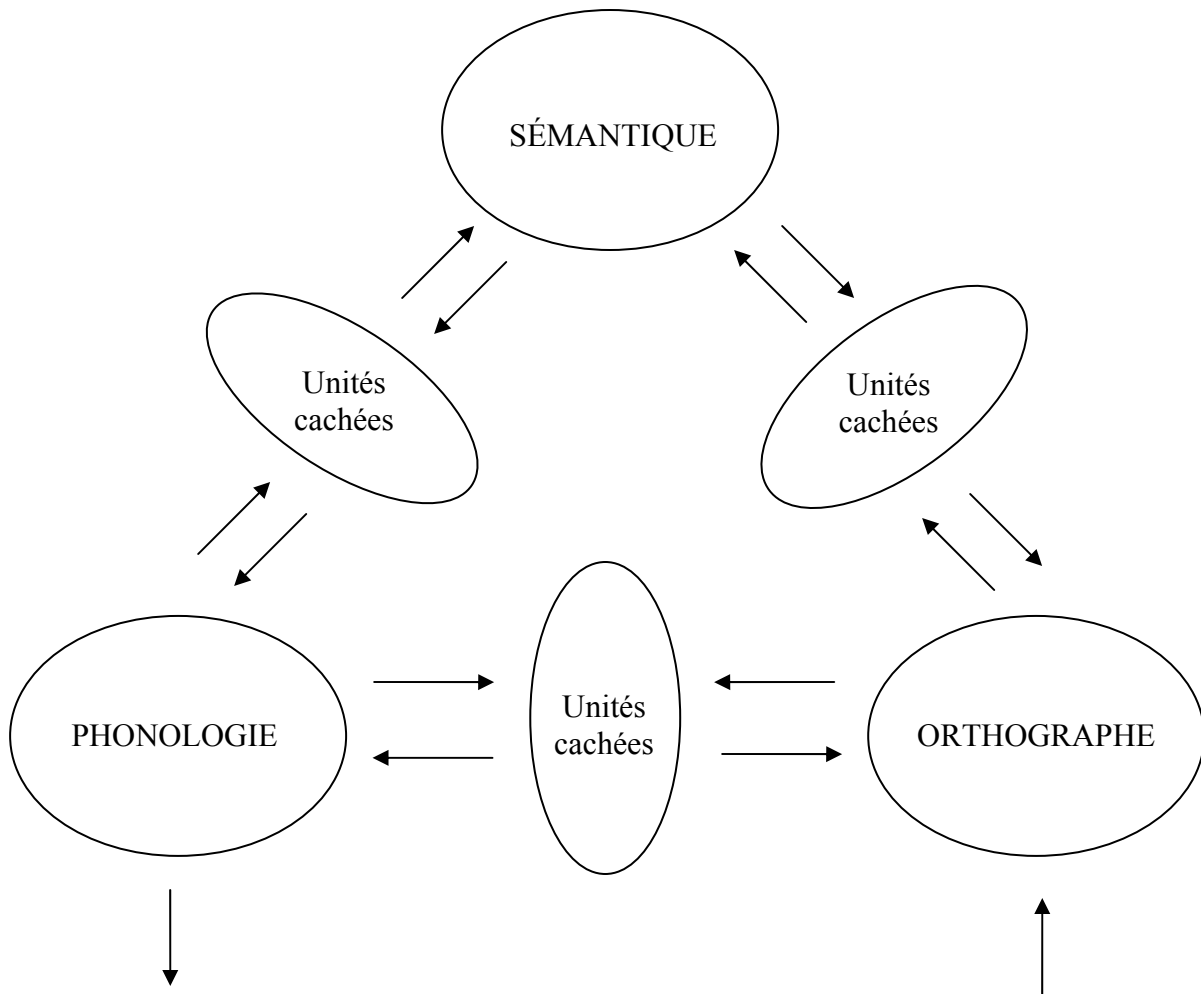


Fig. 4 -- Fiset et Arguin

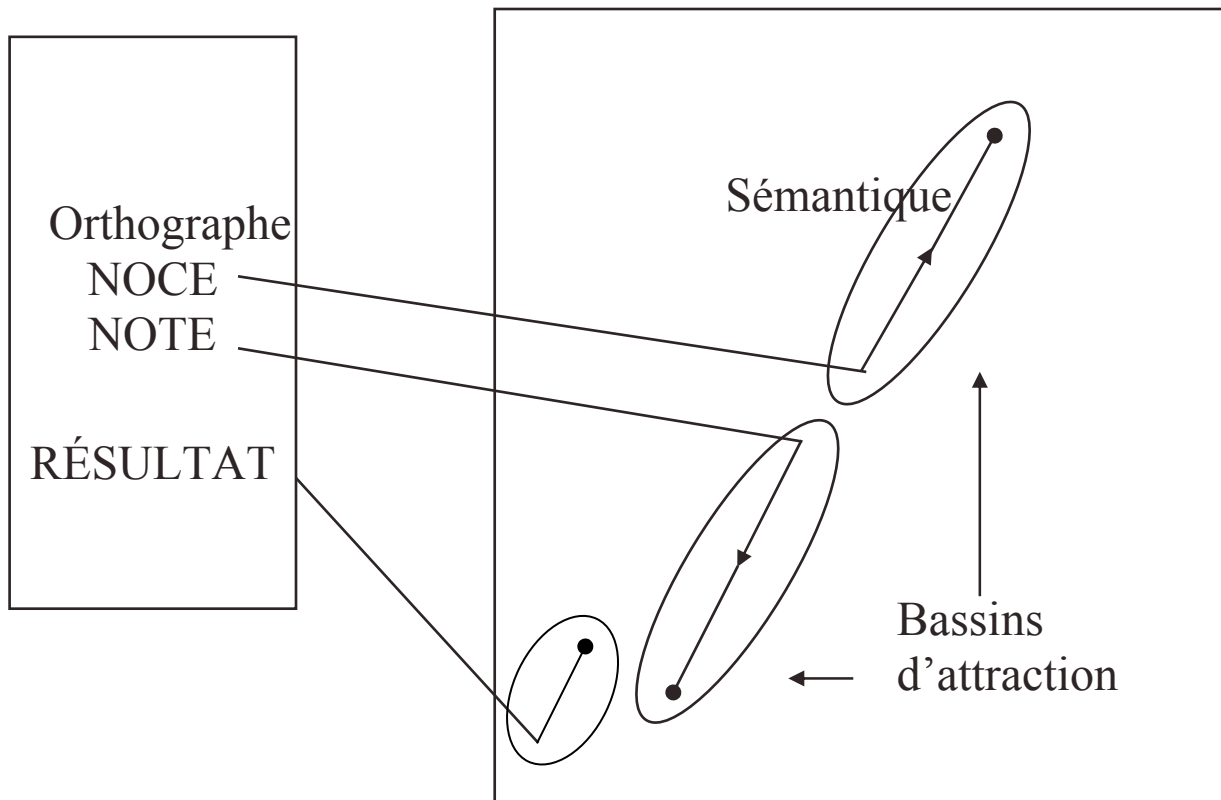


Fig. 5 -- Fiset et Arguin