

Approche neuro-pédagogique des lobes frontaux humains

par Daniel Favre ¹, (1993) Les sciences de l'Éducation , 5/1992 p23-44.

Mots clés : Lobes frontaux ; représentation du temps ; apprentissage.

Résumé :

Fruits des derniers millions d'années de l'évolution, les lobes frontaux humains semblent constituer par leur importance la structure nerveuse spécifique de notre espèce et la dernière, chez un individu, à achever son développement. C'est aussi celle dont les fonctions sont restées le plus longtemps mystérieuses. Des travaux récents de neurobiologie indiquent que le traitement de l'information par les lobes frontaux semble concerner la représentation du temps.

Cet ultime équipement nerveux nous doterait ainsi de la faculté de nous représenter le temps futur dans la mesure où il permet de construire un programme d'actions et de vérifier son exécution. Et à la suite d'observations de lésés et d'handicapés cérébraux frontaux, on peut faire l'hypothèse que les lobes frontaux interviennent fonctionnellement pour nous permettre de nous détacher du temps passé et de ses modes de fonctionnement.

Sortir de la répétition et ouvrir l'avenir par la réalisation de nouveaux comportements constituent des capacités susceptibles de favoriser généralement l'apprentissage. Cependant les lobes frontaux "greffés en parallèle" sur le reste du cerveau sont eux-mêmes neuro-modulés par - et en interrelation fonctionnelle avec - le cerveau affectif et émotionnel.

La prise en compte de l'existence de cette interrelation dans les différentes grilles de lecture que nous pouvons avoir de l'éducation, pourrait permettre d'inventer des dispositifs pédagogiques mieux adaptés.

¹CP 089 Laboratoire de Modélisation de la Relation Pédagogique - Université de Montpellier II. 34095 Montpellier cedex 5.

Neuropedagogical approach of human frontal lobes

Summary :

The human frontal lobes are the fruit of evolution over the past millions of years. Their size appears to make them the neural structure specific to our species, and the last structure to develop in any individual. The frontal lobe is also the part of the brain whose function has remained a mystery for the longest time. However, recent studies in neurobiology indicate that the way the frontal lobes handle information seems to involve the representation of time.

This ultimate component of our neurological equipment thus provides us with the capacity to conceptualize the future, in so far as it can construct a program of actions and monitor its execution. Lesioning experiments and data from patients with frontal lobe lesions suggest that the frontal lobe operate in such a way to allow us to cut free from the past tense and its way of functioning.

This freedom from repetitive behaviour and openness to the future by the development of new behaviours and capacities likely to encourage all forms of learning. But the frontal lobes, "grafted in parallel" onto the rest of the brain, are themselves modulated by, and functionally interrelated with the emotional brain.

We may be able to invent more appropriate teaching systems by taking into account this interrelation in the various reading scales that we may have of education.

Introduction

Les lobes frontaux humains représentent, d'un point de vue évolutif, les structures nerveuses néocorticales les plus récentes. Ce sont également celles dont la maturation s'achève en dernier puisque la fin de la myélinisation des fibres nerveuses des lobes frontaux est observée vers l'âge de 15-16 ans.

L'importance du volume des lobes frontaux s'accroît en effet au cours de la phylogenèse pour constituer chez l'homme environ 29 % de la totalité du cortex ce qui représente un record absolu chez les primates.

Le développement des lobes frontaux et du néocortex en général représente cependant un cas singulier parmi les espèces animales dans la mesure où il s'est produit assez rapidement. S'il faut en effet 500 millions d'années à l'évolution pour produire des *Homo habilis* capables d'inventer et de créer des outils avec un cerveau de 500 cm³ environ (très proche, à l'époque, de celui de notre plus proche cousin le chimpanzé avec qui nous partageons actuellement 98,4 % de notre information génétique, Savatier et al, 1987), il ne lui faudra que 3 à 4 millions d'années pour tripler ce volume cérébral et atteindre celui de l'*Homo sapiens sapiens* il y a 30 à 50.000 ans, ce triplement étant dû essentiellement au développement du néocortex et en particulier des lobes frontaux (cf. le schéma de Fuster 1989 p.7). Si la capacité à fabriquer des outils, c'est-à-dire à inventer des conduites non programmées génétiquement, est corrélée à celle de maîtriser le langage abstrait, on peut supposer que le développement des lobes frontaux humains résulte d'un processus évolutif complexe dans lequel interfèrent vraisemblablement des déterminants d'ordre biologique (neurobiologique et écologique) et des déterminants d'ordre culturel liés à l'importance croissante de la relation éducative dans la maturation biopsychologique des jeunes primates du genre *Homo*.

Cette hypothèse ne peut être actuellement ni complètement prouvée ni complètement réfutée mais peut rendre compte de l'accélération étonnante du processus évolutif. Quelques chiffres provisoires peuvent permettre de la visualiser : le chimpanzé et le gorille ont un volume cérébral d'environ 450 cm³, l'*Australopithèque gracile* et *Homo habilis* de 500 cm³ ; il y a 1,5 millions d'années émerge *Homo erectus* avec 800 cm³ puis *Homo sapiens* il y a 2 ou 300.000 ans avec 1200 cm³ et enfin l'Homme de Néanderthal (1600 cm³) et de CroMagnon avec 1450 cm³ de volume cérébral.

Paradoxalement, des lésions ou une ablation des lobes frontaux ne produisent pas d'effets très spectaculaires. Elles n'entraînent pas la mort comme c'est le cas lorsque l'hypothalamus ou le bulbe rachidien sont l'objet d'une lésion ni même de paralysie comme lorsque certaines parties du cortex sont atteintes. Les tests de mémoire ou les tests cognitifs (mesure de QI) ne montrent pas de déficits très sensibles ; plus marqués sont les

troubles de l'humeur : en effet les sujets lésés frontaux supportent mal les frustrations (Lhermitte et coll, 1986).

En revanche les capacités à planifier dans le temps une activité, à réaliser une tâche non routinière et à s'adapter à la nouveauté sont très amoindries chez les sujets lésés (Milner et Petrides, 1984 ; Lhermitte et coll, 1986, Fuster, 1989). Ces études semblent montrer une corrélation entre le fonctionnement normal des lobes frontaux et le développement des activités au sein d'une temporalité ouverte, non répétitive. Comme la capacité à se projeter dans le temps, à différer la satisfaction d'un besoin ne semblent se développer que progressivement chez un enfant et que les élèves en difficulté ou en échec dans le système scolaire sont souvent décrits comme déterminés par un "sentiment d'immédiateté" qui les rend peu aptes à élaborer des projets (P. Maubant, 92), il m'a paru heuristique bien qu'"osé", compte-tenu des limites épistémologiques qui séparent les disciplines impliquées, de décrire les fonctions actuellement reconnues aux lobes frontaux humains et en particulier celles qui sont en relation avec notre rapport au temps, en espérant à travers l'examen de cette relation pouvoir repérer des pistes ou des liens entre le fonctionnement du substrat biologique que représentent les lobes frontaux et leur "usage" éventuel dans le cadre des apprentissages.

J'aborderai donc successivement quelques notions d'anatomie puis les fonctions attribuées aux lobes frontaux et enfin les rapports pouvant exister entre le fonctionnement des lobes frontaux, la représentation individuelle du temps et l'aptitude à apprendre. Je terminerai en essayant d'identifier parmi les pratiques pédagogiques celles qui pourraient se traduire sur le plan neurobiologique par une activation des lobes frontaux par rapport à d'autres, qui, plus proches du conditionnement, ne semblent pas requérir la présence ou le fonctionnement de la dernière structure nerveuse que nous ayons développée au cours de l'évolution.

I) Les lobes frontaux : un cerveau greffé en parallèle sur le reste du cerveau

L'étude de la neuroanatomie des lobes frontaux et de leur développement au cours de l'ontogenèse met en évidence l'existence d'un très grand nombre de voies nerveuses se projetant sur ces structures néocorticales. Ainsi la plupart des aires corticales associatives et le thalamus (qui traitent les informations d'origine sensorielle), le cortex olfactif, le cortex limbique, l'hypothalamus, les noyaux du septum et de l'amygdale, les noyaux mésencéphaliques et bulbaires (qui régulent et adaptent les fonctions végétatives et dont l'activité biologique est corrélée avec un ressenti d'ordre émotionnel ou affectif) projettent un nombre important de fibres cholinergiques, dopaminergiques ou noradrénergiques sur les lobes frontaux. Inversement ceux-ci innervent la plupart des structures nerveuses plus anciennes phylogénétiquement, formant un très grand nombre de boucles nerveuses s'inter-régulant mutuellement sur le plan fonctionnel (Fuster, 1989 p. 31 et 177).

Cet aspect doit être souligné car on a pensé pendant une longue période que le fonctionnement du cerveau frontal était modulé par les structures sous-jacentes appartenant notamment au système limbique mais qu'inversement il ne pouvait pas contrôler ces structures.

Cette forte interconnexion réciproque entre les lobes frontaux et le cerveau associé aux affects et aux émotions a conduit certains auteurs comme Nauta, à appeler les lobes frontaux "the visceral brain". Une façon de se représenter le rôle des lobes frontaux consiste à considérer le système nerveux comme un lieu où sont traitées des informations, transduites par les récepteurs sensoriels, en provenance de l'environnement d'un individu (perception) ; ce traitement permet au cerveau d'élaborer une réponse c'est à dire une action et de préparer ainsi notre organisme à cette action. Il est possible de repérer différents lieux de traitement *en inter-régulation réciproque* où s'élaborent *en parallèle* des cycles perception-action (Fuster, 1989, p.177). Ces traitements sont de plus en plus complexes au fur et à mesure que l'on passe des centres nerveux les plus anciens phylogénétiquement comme ceux de la moëlle épinière, du tronc cérébral, du diencéphale, puis ceux du télencéphale ancien, enfin ceux du néocortex associatif et moteur, aux plus récents comme ceux du néocortex frontal. Chacun de ces centres traite en parallèle de l'information et se développe chez un être humain dans le même ordre que celui de son apparition au cours de l'évolution, expliquant ainsi que nos lobes frontaux vont se développer lentement et être complètement fonctionnels en dernier, ce qui me semble important à intégrer dans la représentation que nous pouvons avoir d'un jeune apprenant.

Dans la période néonatale, alors que le cerveau "affectif et émotionnel" est déjà fonctionnel depuis plusieurs semaines, les lobes frontaux ne contiennent que des neurones de petite taille aux dendrites peu développés. Environ six mois après la naissance, ces dendrites seront de 5 à 10 fois plus longs et vers l'âge de 2 ans et demi à 3 ans, les récepteurs post-synaptiques à l'acétylcholine (localisé par la présence d'acétylcholinestérase) se multiplient dans les cellules pyramidales de la couche 3 (Gaspard et Berger, 1989) ce qui traduit sans doute une étape importante du développement fonctionnel de ces structures, étape qui peut être corrélée avec des changements importants sur le plan psychologique. La myélinisation des fibres nerveuses, l'élimination de cellules nerveuses non utilisées se poursuit jusqu'à l'achèvement de la maturation des lobes frontaux vers l'âge de 16 ans (Huttenlocher, 1979).

Ce décalage de maturation biologique entre le cerveau "affectif et émotionnel" et les lobes frontaux fait ainsi exister la possibilité que les premiers fonctionnent, mémorisent les traces d'expériences contenant plaisir ou frustration avant que les lobes frontaux associés aux processus cognitifs ou décisionnels puissent traiter ces expériences (Favre C. et Favre D., 1991 pp. 79-87 et 145-180). La prise en compte de ce décalage pourrait constituer un critère permettant d'opérer une distinction chez un être humain entre les processus de conditionnement et ceux d'apprentissage (Favre, 1988) : serait de l'ordre du conditionnement la rétention d'expériences ne sollicitant pas les lobes frontaux et mettant

autrui en position d'objet et seraient de l'ordre de l'apprentissage les expériences nécessitant l'activité même embryonnaire des lobes frontaux et l'adhésion de l'individu en tant que sujet. Chez l'animal une distinction, relativement proche de celle-ci sur le plan neurobiologique, a été rapportée par Lynch et Baudry en 1984. En effet, une différence fonctionnelle a été relevée entre des apprentissages complexes impliquant l'élaboration de stratégies où le cortex est indispensable et des conditionnements, comme la réaction d'évitement de stimulations nociceptives, qui peuvent être acquis par des animaux "dé-cortiqués" avec le seul traitement des informations effectué par les structures nerveuses sous-corticales plus anciennes.

II) Peut-on se passer des lobes frontaux ?

Il existe dans la littérature deux grands types d'études permettant de donner des éléments de réponse à cette question : les études portant sur les effets des lésions du cortex frontal et celles portant sur le fonctionnement des lobes frontaux dans les pathologies mentales.

Les études portant sur le fonctionnement des lobes frontaux en cas de lésion ou d'ablation partielle ou totale semblent indiquer que ceux-ci ne sont pas indispensables pour effectuer des tâches routinières, pour réussir des tests classiques de mémoire ou de détermination du quotient intellectuel. Toutefois, on peut noter différents types de symptômes :

1°) Un déficit dans la réalisation de tâches impliquant une capacité à discriminer finement, qui semble provenir de la difficulté à supprimer ou à inhiber les interférences en provenance de perceptions ne relevant de la tâche elle-même. Chez certains singes, ce déficit peut être associé notamment à une hyperactivité résultant d'une réactivité anormale aux stimuli externes et entraînant ainsi une réduction de la capacité d'attention aux éléments de la tâche. D'une manière générale, la difficulté à *maintenir* et à *diriger* l'attention semble être un résultat communément retrouvé chez les humains lésés frontaux.

2°) Très souvent le sujet lésé frontal manifeste de l'apathie, il a tendance à rester au lit, il ne prend pas d'initiative mais répond quand on lui pose une question (Goodglass et Kaplan, 1979). Plus rarement il peut présenter un syndrome d'euphorie labile (Grafman et coll., 1986). Sa dépendance importante par rapport aux signaux extérieurs se caractérise également par des conduites calquées par imitation sur le comportement ou les attitudes corporelles des personnes proches physiquement (Lhermitte et coll., 1986), rappelant ainsi des jeux de la prime enfance.

3°) L'implication sociale et affective du sujet lésé frontal se restreint ; ainsi l'activité sexuelle est fréquemment diminuée. Il paraît souvent indifférent mais peut rire, pleurer, injurier autrui à la suite de stimuli faibles ou de manière inappropriée à la situation.

Outre le manque de discrimination déjà observé dans les situations impliquant des processus cognitifs, le sujet lésé frontal supporte mal tout retard apporté à la satisfaction d'un besoin élémentaire et son intolérance à la frustration peut engendrer des colères subites et brèves, le sujet semblant ensuite avoir tout oublié de l'incident, ce qui alimente l'hypothèse relativement ancienne selon laquelle la lésion des lobes frontaux perturberait le fonctionnement de la mémoire à court terme (Jacobsen, 1931).

4°) C'est dans les tâches non-routinières impliquant une résolution de problèmes inhabituels que se remarque le plus un déficit associé à une lésion ou un fonctionnement anormal des lobes frontaux. Le test de Wisconsin développé par Grant et Berg (1948) puis repris et adapté par Nelson (1976) est suffisamment sensible pour détecter de tels dysfonctionnements, récemment une modélisation informatique des propriétés des lobes frontaux requises pour réussir ce test a été réalisée par Dehaene et Changeux en 1991 (Cf. Changeux, 1992). La réussite à ce test nécessite de trouver la nouvelle règle présentée à chaque épreuve du test et surtout d'être capable d'abandonner la règle préalable, (Milner et Petrides, 1984). Les personnes présentant des lésions des lobes frontaux, des symptômes schizophréniques ou encore atteints d'une maladie dégénérative du cortex frontal, ne parviennent pas - ou difficilement - à se détacher de la représentation des premières règles initialement correctes, même après que l'examineur leur ait signalé qu'elles ne le sont plus ; elles ne peuvent ainsi découvrir les nouvelles règles qui leur permettraient de réussir les épreuves suivantes. Ce type de test explore une fonction importante des lobes frontaux qui serait de permettre à *une personne de pouvoir se détacher d'une ancienne représentation* lorsqu'elle devient obsolète pour résoudre un problème relevant de la situation présente. Quel rôle une telle fonction pourrait-elle jouer lors d'un apprentissage ?

Une autre source de renseignements concernant les lobes frontaux s'est révélée à travers l'étude de personnes atteintes de "maladies mentales" telles que la schizophrénie, le syndrome compulsif obsessionnel ou la démence sénile. Dans ces trois cas le fonctionnement des lobes frontaux est impliqué.

1°) L'étude de la schizophrénie a permis d'identifier l'existence de plusieurs formes de cette maladie. Cependant l'innervation dopaminergique des lobes frontaux devrait y jouer un rôle déterminant dans les différentes formes de schizophrénie sans que l'on sache si cette anomalie du fonctionnement dopaminergique est la cause ou la conséquence de la maladie. Wienberger (1988) en analysant le débit sanguin cortical lors d'une tâche recrutant les lobes frontaux, en l'occurrence le test de Wisconsin, a pu démontrer l'existence d'un *hypométabolisme* chez les personnes atteintes par cette maladie, hypométabolisme qui était partiellement corrigé par l'emploi de neuroleptiques que l'on sait actifs sur les synapses dopaminergiques. Cet hypométabolisme, ou inhibition des lobes frontaux, semble être le fait de l'activité des structures nerveuses sous-jacentes dont le fonctionnement est corrélé à celui

des émotions et des affects. À ma connaissance, il n'est pas associé à une quelconque lésion ou dégénérescence du système nerveux : son origine serait donc fonctionnelle. De plus, l'apathie observée dans certaines formes de schizophrénie, la stéréotypie des conduites, la faiblesse de l'implication sociale de ces malades confirment la piste qui amène à rechercher l'explication d'ordre neurobiologique de cette maladie dans une inhibition fonctionnelle des lobes frontaux.

2°) Lors d'études de formes plus actives de la schizophrénie ou du syndrome compulsif obsessionnel, des formes d'hyperactivités ou de manies ont été observées. Une forme de traitement a consisté à sectionner chirurgicalement les fibres nerveuses connectant les lobes frontaux au reste du cerveau. Très souvent, à la suite de différents types de lobotomies (Khanna, 1988), il est observé une récession des symptômes maniaques, et dans le cas où il existait auparavant chez ces "malades" des pensées intrusives, celles-ci sont moins intrusives et provoquent moins d'anxiété et d'interférences avec les autres activités du sujet. Entre Moniz qui depuis 1936 en a généralisé la pratique et les années 70 où la psychochirurgie sera presque proscrite, cent mille lobotomies seront effectuées sur des humains dont la moitié pour les seuls U.S.A. La recherche de la normalité qui motive l'isolation des lobes frontaux semblait bien être alors synonyme de guérison, Moniz aura le prix Nobel en 1964 pour ses travaux de psychochirurgie². Dans les années 70, le retour du concept du sujet en psychologie, le droit à la différence en pédagogie sont, semble-t-il, les indices convergents d'un changement de mentalité qui nous fait rejeter ce type d'intervention. Ne serait-ce pas parce que les lobes frontaux constituent le substrat biologique grâce auquel une personne peut *manifester* au monde et à elle-même son individualité et son libre arbitre ? Actuellement le langage de certains neurobiologistes se modifie dans ce sens, par exemple lorsqu'ils font *référence à un sujet* en évoquant la possibilité de "mouvement à commande interne ou autrement dit librement choisi" qui engage le cortex préfrontal, dont la participation est "dépendante d'une décision personnelle, non conditionnée par des stimuli extérieurs" (Tzourio et Mazoyer, 1991), décision qui joue d'ailleurs un rôle primordial au cours des apprentissages. Mais cela pose sans le résoudre, le problème fondamental de la nature de l'interface existant entre l'espace psychique et l'espace neuronique : Quoi (dans l'espace des représentations et des objets mentaux) commande quoi (dans l'espace des neurones et des synapses) ? Mais pour d'autres neurobiologistes, ce type de problème n'existerait pas. Ceci semble être le cas de Changeux (1992) quand, en conclusion d'un paragraphe page 710, il écrit : "Du jeu de ces régulations emboîtées (entre les différents centres nerveux) naît la <<conscience>>" en se référant à "L'homme neuronal" (Changeux, 1983). Dans cet ouvrage il utilise la métaphore de l'émergence de l'iceberg hors de l'eau pour illustrer ce que représente, à ses yeux, l'émergence de la conscience par rapport au substrat neuronique. Pour lui il ne

² Cf. également le chapitre "La localisation des fonctions psychiques supérieures" pp. 57-85 in JEANNEROD M. (1996) De la physiologie mentale, Odile Jacob, Paris.

paraît donc pas exister de discontinuité entre espace psychique et espace neuronique : "... la conscience *est* ce système de régulation en fonctionnement", page 211.

3°) Avec le vieillissement se produit quelquefois une dégénérescence des cellules nerveuses. Dans la plupart des cas, le système nerveux possède des capacités d'auto-réparation ; mais en cas de dégénérescence, on a observé que chez un certain nombre d'individus ce sont surtout et en premier les lobes frontaux qui sont touchés et eux, ne se réparent pas (Terry et coll., 1991). Le nombre de synapses cholinergiques diminue, les neurones sont remplacés par des tissus cicatriciels inertes sur le plan fonctionnel et on voit apparaître les signes d'un hypofonctionnement frontal : la concentration intellectuelle devient difficile, le changement d'habitude souvent impossible, la dépendance par rapport à l'entourage s'accroît, la résistance à la frustration diminue, on dit souvent que ces personnes "retombent en enfance".

La maladie d'Alzheimer dont il est question à travers ces symptômes pourrait bien être corrélée à des particularités génétiques mais celles-ci sont-elles causes ou conséquences de celle-là ? S'il n'est pas certain que la cause soit d'origine génétique ni unique, cela n'exclut donc pas la question de savoir si cette maladie ne pourrait pas avoir une "finalité psychologique" comme l'apaisement d'un "conflit" existant entre des "instructions" contradictoires enregistrées par des parties différentes du cerveau et à des âges différents de la vie. Cette hypothèse, qui ne s'oppose pas à l'existence d'autres origines possibles de cette maladie, ne me paraît pas complètement gratuite : chez des personnes ayant développé une maladie d'Alzheimer il n'est pas rare d'observer un retour à la normale de paramètres biologiques tels que taux de cholestérol sanguin, tension artérielle, caractéristiques immunitaires, retour à la normale qui pourrait être le témoin d'une vie à l'abri du stress chronique et du conflit sous-jacent.

III) Les lobes frontaux : le cerveau de l'action

Barone et Joseph (1989), en enregistrant l'activité unitaire de plusieurs centaines de neurones du cortex frontal chez le singe Rhésus, ont sans doute identifié un rôle spécifique de cette partie du système nerveux : l'organisation de programmes d'action et le contrôle de leur exécution. Dans cette expérience, l'animal était entraîné à éteindre, après un délai et dans l'ordre où ils avaient été allumés, trois boutons lumineux situés sur un panneau. Pour réaliser cette tâche l'animal devait à la fois mémoriser les relations temporelles entre ces items spatiaux et organiser grâce à cette mémoire un séquençement oculomoteur fait de trois orientations successives des yeux vers les cibles correspondantes. L'enregistrement des neurones avait lieu lorsque l'animal savait effectuer cette tâche sans erreur. Ces auteurs ont ainsi pu montrer que des neurones spéciaux appelés "cellules de contexte" codaient le

déclenchement du même mouvement appris (appuyer sur le bouton du milieu par exemple) mais qu'ils s'activaient différemment selon que cette tâche se trouvait chronologiquement en première ou deuxième position dans le séquençement. Comme l'expriment les auteurs, cela semble montrer que l'exécution d'une séquence motrice apprise est planifiée grâce à la possibilité inhérente aux lobes frontaux de "stocker" des items temporeux et spatiaux apportés par l'environnement, et son exécution neurobiologiquement contrôlée par cette même structure. Ceci veut dire que les lobes frontaux permettent une *permanence des perceptions sensorielles* en l'absence de stimulus externe et l'organisation chronologique de ces perceptions entre elles pour élaborer un plan d'action et vérifier son exécution. Comme le suggèrent les auteurs, cette activité des lobes frontaux pourrait s'étendre également à l'intégration temporelle de données non-spatiales ce qui devrait ainsi fournir à un sujet humain, cette fois-ci, la possibilité neurobiologique de se construire, progressivement et à partir de ses expériences, *une représentation du temps*.

Ce type d'expérience permet alors peut-être de mieux comprendre pourquoi les humains lésés frontaux peuvent réussir à des tests de mémoire ou de QI mais ne parviennent pas à extérioriser des conduites planifiées dans le temps, dans la mesure où ce sont les examinateurs qui, lors de la passation du test, vont organiser temporellement pour eux les différentes tâches que les sujets doivent effectuer, palliant ainsi le rôle de leurs lobes frontaux défaillants.

En se rappelant que les lobes frontaux humains sont également activés lors d'une action "délibérée", est-ce que cette possibilité d'étendre dans le temps une action ne devrait pas jouer un rôle important dans cette capacité d'apprentissage, accrue par rapport aux autres primates, que les sujets humains aux lobes frontaux fonctionnels extériorisent au cours de leur existence ?

IV) Représentation du temps et apprentissage

Du précédent survol des propriétés des lobes frontaux il résulte des arguments d'ordre neurobiologique indiquant que ces structures doivent participer à la construction de notre représentation du temps et à la planification de nos actions et des arguments d'ordre clinique montrant qu'une défaillance des lobes frontaux se traduit par une incapacité à se projeter dans l'avenir, à anticiper et à se dégager du passé en s'adaptant à une situation nouvelle. Or, les situations d'apprentissage ne demandent-elles pas au sujet de s'organiser, de dégager des objectifs, de les planifier temporellement, de vérifier que les objectifs ont été atteints ou non et enfin, de pouvoir abandonner une stratégie, une représentation ou une conception préalable quand celles-ci deviennent obsolètes ?

La représentation du temps, ou au moins "la construction d'une perspective temporelle personnelle" selon l'expression de Gaston Mialaret³, semble bien constituer une représentation nécessaire à un humain pour qu'il puisse structurer, planifier ses actions et vérifier leur exécution. Cette possibilité de se représenter le temps que l'on peut attribuer au fonctionnement des lobes frontaux se développe comme eux, progressivement au cours de l'existence et semble dépendre de plusieurs catégories de facteurs qu'on peut qualifier de psychologiques, sociologiques et didactiques pouvant interférer avec les propriétés de ce substrat biologique.

Ne pourrait-on pas dans cette perspective, envisager des dispositifs d'apprentissage qui prendraient en compte ces propriétés plutôt que de les ignorer ?

M'intéressant également à la pédagogie, je n'ai pu que constater que la notion de projet et celle de contrat ont été introduites dans l'enseignement depuis le début des années 80 et cela indépendamment du développement de l'intérêt des chercheurs en neurosciences pour les lobes frontaux. Un paradoxe posé par l'éducation que les humains ont eu à résoudre (et ce n'est pas fini !) a consisté à devoir inventer un mode d'éducation et une pédagogie sans connaître le "mode d'emploi d'eux-mêmes". Et je ne peux que saluer l'intuition de pédagogues qui comme Dewey, Decroly, Montessori, Freinet, Gattegno, ont contribué à faire émerger l'idée d'une "école nouvelle". Par opposition avec l'école traditionnelle, le développement de l'élève est mieux respecté et son activité cognitive propre prise en compte et sollicitée. Celui-ci peut alors commencer à devenir le sujet de ses apprentissages... à condition qu'il intègre le projet présenté par l'école comme son projet. Il y a une dizaine d'années la notion de projet s'est suffisamment répandue culturellement comme en témoignent, entre autres, les apports d'Ardoino (1984) et de Boutinet (1986-90) pour que les enseignants eux-mêmes ainsi que la sphère administrative s'en soient emparés avec le "projet d'établissement" dans le cadre de l'opération dite de "rénovation des collèges" (Obin et Weber, 1987). Il ne reste plus, et ce n'est pas simple me semble-t-il, qu'à savoir susciter chez les apprenants une motivation individuelle spécifique et à expliciter un projet collectif "motivant" pour que puisse exister dans le cadre scolaire une pédagogie fondée sur la notion de projet expurgée d'ambiguïté (Ardoino, 1987). Dans le cadre parallèle de la formation continue, le concept de la pédagogie du projet se développe et donne lieu à des applications. "Conçue empiriquement à partir de la problématique spécifique de la formation de publics marginalisés" (chômeurs longue durée, détenus ...), la pédagogie du projet s'est peu à peu donnée un cadre théorique et une finalité qui est "l'accroissement du potentiel d'autonomie des personnes qui se forment", réalisable à travers l'élaboration d'un projet existentiel personnel comprenant un projet d'anticipation (à venir), un projet de satisfaction (pour le présent) et un projet de cohérence intérieure (retour sur le passé) (Vassileff, 1992 p. 66-88). La pédagogie du projet pourrait ainsi constituer un des moyens d'inciter une catégorie de public en voie de marginalisation : les élèves en échec

³Communication au colloque de l'A.F.I.R.S.E. du 27-30 mai 1992 à Lyon.

scolaire, à prendre ou reprendre goût aux situations d'apprentissage. Je ne suis pas le premier à penser cela et il me semble que les signes d'hypofonctionnement frontal que l'on pourrait déceler chez ces élèves : attention labile et mal dirigée, logique de l'immédiateté, apathie ou hyperactivité, manque de projet personnels... renforcent la pertinence de l'introduction de la pédagogie du projet à l'école.

Toujours dans le cadre scolaire on pourrait également examiner, à la lumière des données concernant les lobes frontaux, le passage difficile pour certains élèves de l'entrée en sixième. Ces élèves doivent en effet passer assez brutalement d'une situation scolaire où c'est finalement l'instituteur "omniprésent" qui organise et planifie pour eux leur emploi du temps à celle où ils vont devoir, en utilisant le cahier de texte et l'emploi du temps fourni par le collègue, retrouver par eux-mêmes les différents enseignants situés dans des salles différentes, prévoir les livres et cahiers qu'ils devront emmener chaque jour et les devoirs et leçons se rapportant aux différents cours. Il est ainsi demandé à ces "élèves aux lobes frontaux inachevés" de passer rapidement et presque sans entraînement d'une activité scolaire *en référence majoritairement externe* sollicitant peu leurs lobes frontaux puisque c'est l'instituteur qui organise pour eux le temps, à une activité scolaire *en référence majoritairement interne* où l'activité des lobes frontaux semble requise pour auto-déterminer davantage leurs actions au sein du collège en l'absence d'une tierce personne qui les guide. Cet exemple illustre assez bien, à mon sens, l'intérêt de distinguer dans un dispositif pédagogique ce qui favorise l'activation des lobes frontaux et met le sujet en référence interne par rapport à l'objet de son apprentissage de ce qui le met en référence externe. *La problématisation de l'enseignement* va dans le sens d'une mise en référence interne du sujet dans la mesure où on va lui demander d'élaborer une réponse, une hypothèse explicative ou de formuler un avis. À l'inverse, la réponse d'un professeur de biologie de classe de cinquième à un élève qui établissait des liaisons entre ce qui était dit par elle et d'autres éléments du programme de biologie : "Benoît, tu ne dois dire que ce que je t'ai appris et rien d'autre !", entraîne l'invalidation implicite évidente de l'activité mentale autodéterminée de Benoît et pourrait l'inciter à s'en remettre complètement à autrui pour savoir ce qu'il "doit" penser. L'attitude de l'enseignante illustre par ailleurs un phénomène assez fréquent; Benoît était en train de déflorer le thème de biologie qu'elle voulait traiter quelques semaines plus tard, les commentaires de Benoît modifiait donc l'avenir tel qu'elle l'avait prévu, d'où sa tentative pour économiser un changement dans son enseignement. Serait-ce dû à un hypofonctionnement frontal ou à un banal syndrome de paresse ?!

V) Des pratiques pédagogiques qui pourraient favoriser la dé-saisie d'une connaissance ou d'un raisonnement

D'après les données rassemblées dans les parties précédentes, l'activité des lobes frontaux semble associée assez étroitement avec la possibilité de se représenter le temps. Outre se représenter l'avenir sous forme de projets, les lobes frontaux pourraient nous fournir la liberté biologique et psychologique potentielle de pouvoir nous *séparer* de représentations ou de raisonnements devenus obsolètes et de les dépasser, leur non-dépassement correspondant aux "erreurs de persévérance" mises en évidence par le test de Wisconsin.

Plusieurs travaux fondateurs en épistémologie ont mis l'accent sur le caractère discontinu de l'évolution des théories scientifiques. En formulant le concept d'obstacle épistémologique, Bachelard (1938) a décrit la nature de ces obstacles et les a situés comme des passages obligés entre une connaissance commune et une connaissance de nature scientifique. La connaissance scientifique ne commencerait jamais à zéro et se heurterait à une connaissance usuelle avec laquelle elle présente une contradiction et une discontinuité. C'est à une rupture de ce type que seraient confrontés les apprenants pour pouvoir progresser, c'est-à-dire faire évoluer leur représentation et leur savoir faire. Depuis une quinzaine d'années, les études de didactique portant sur les représentations ont permis de repérer une liste importante d'obstacles que les élèves devraient dépasser pour pouvoir s'appropriier les connaissances que les enseignants s'efforcent de leur transmettre. C'est souvent le non-franchissement de ces obstacles que ce type d'études illustre dans le cas des disciplines comme la biologie (Giordan et De Vecchi, 1987), faisant douter ainsi de l'efficacité actuelle de l'enseignement scientifique. Ainsi, la reconnaissance des obstacles et de leur fondement épistémologique semble constituer une première étape pour définir des objectifs pédagogiques en terme d'objectifs franchissables (Martinand, 1986). La désignation et la prise en compte par l'enseignant d'"objectifs-obstacles" présenteraient l'avantage de lui indiquer comment orienter plus efficacement ses interventions pédagogiques et l'évaluation des productions des élèves. Par rapport aux pratiques courantes, l'avantage de celle-ci pour l'apprenant résiderait dans la possibilité d'être plus adéquatement renseigné sur la connaissance dont il doit se dessaisir et en quoi elle s'oppose à celle qu'il doit s'approprier. L'objectif de la dé-saisie étant clairement désigné à l'apprenant, on peut penser que le recours à ses lobes frontaux lui permettra ensuite de la réaliser. En effet, la situation pédagogique en explicitant cet objectif s'assimile alors à celles que présente le test de Wisconsin, lequel est réussi par la plupart des individus n'ayant pas de pathologies frontales...

Je souhaiterais prendre maintenant un exemple où l'"échec pédagogique" semble associé à la non-prise en compte d'un obstacle existant entre le système explicatif que s'est construit spontanément l'enfant et la nouvelle conception qui leur est présentée. La recherche en didactique que nous avons réalisée avec I. Verseils⁴ en 1992 concerne l'appropriation du concept de "surface portante" par des élèves de classes de 6ème dans le cadre d'un

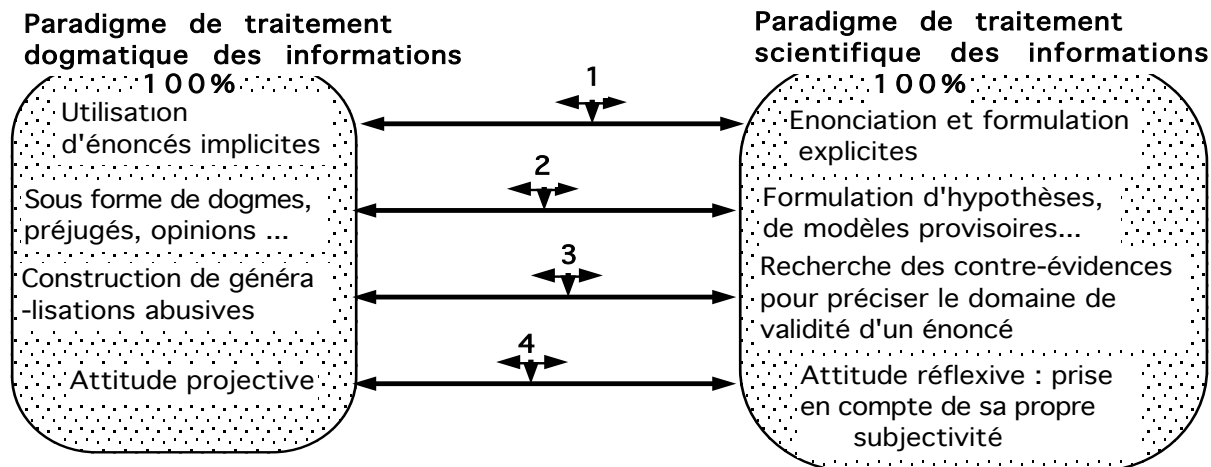
⁴ Article en préparation.

enseignement de biologie concernant le vol animal. L'évaluation faite par les enseignants et portant sur la description des ailes et sur la restitution d'expériences réalisées en classe se révèle très positive ; "il n'y a rien à comprendre dans cette leçon, ce n'est que de la description !" déclare l'un d'eux. En revanche, notre évaluation indique que seuls trois ou quatre élèves par classe semblent pouvoir utiliser les attributs de ce concept après l'enseignement qu'il ont reçu. L'analyse des résultats met en évidence plusieurs obstacles constitués par leur difficulté à se représenter la matérialité de l'air ou à distinguer le concept de vide de celui de d'apesanteur. Un item de cette évaluation proposait un problème : "si sur la lune, un cosmonaute lâche en même temps un feuille de papier pliée en boule et une autre laissée à plat, quelle est celle qui atteint le sol lunaire en premier ?" "Aucune" répondirent de nombreux élèves *parce que* "dans le vide tout flotte" ! C'est également ce type de réponse spontanée que nous ont fait récemment un certain nombre d'universitaires !! Vivant à la surface de la terre, notre "expérience première" concernant la pesanteur, qui affecte les objets en leur donnant leur poids, n'est pas séparée dans ses effets de la présence plus ou moins résistante de l'air. De cette expérience semble être déduit un système explicatif corollaire : "en l'absence d'atmosphère les objets n'ont plus de poids", lui-même confirmé en apparence par des images médiatisées : dans le vide (de l'espace) les objets semblent flotter et ne tombent pas. Ayant repéré cet obstacle constitué par ce raisonnement plus ou moins implicite chez les élèves, le problème posé devenait alors : comment en favoriser le franchissement par le plus grand nombre. Ce franchissement supposait que les élèves puissent s'explicitier leur "théorie", la concevoir comme une hypothèse parmi d' autres possibles, éventuellement trouver des contre-arguments pour la réfuter et ainsi, après s'être convaincu de ses insuffisances, l'abandonner. Il fallait donc que les élèves se familiarisent avec les attitudes cognitives de la démarche scientifique qu'une recherche précédente a permis de modéliser (Favre, 1990, 1991, Favre et Rancoule 1993) et que je vais rapidement décrire avant d'exposer les effets de leur usage.

La possibilité d'explicitier des énoncés qui ont le statut d'hypothèse ou de *modèle provisoire et approximatif* dont on précise progressivement le domaine de validité par la recherche de contre-exemples en utilisant une attitude réflexive définit *un paradigme de traitement scientifique*⁵ *des informations* (P.T.S.I). Par opposition, rester dans le domaine implicite en utilisant des énoncés qui ont statut de "vérité-certitude", au contexte non précisé et soumises aux projections de leur auteur définit *un paradigme de traitement dogmatique des informations* (P.T.D.I.). Ces paradigmes sont caractérisés par huit attitudes cognitives (ou manières de disposer et diriger son esprit dans l'acte de connaître) opposées deux à deux selon : 1°) le mode de formulation ; 2°) le mode de situation par rapport aux connaissances ; 3°) le mode d'établissement de la preuve ; 4°) le mode de relation avec la subjectivité. Pour chacun de ces modes, représentés par un différentiel (<--->), un curseur mobile permet de repérer les

⁵Scientifique est pris dans son sens restreint = non-dogmatique.

nombreuses positions intermédiaires possibles entre les extrêmes théoriques représentés par le 100% :



DEPLACEMENT FAVORISANT LA DEMARCHE SCIENTIFIQUE ET L'APPROPRIATION DES CONNAISSANCES



Le P.T.D.I. a pour finalité la conservation des connaissances sous forme de préjugés, de lois générales au contexte ou au domaine de validité flou et peu explicite, soumises aux projections d'origine affective de ses auteurs et entretenant celles des personnes à qui s'adresse l'information. Dans ce cas la connaissance est enseignée sous forme de vérités atemporelles, la relativité qu'introduit la prise en compte du temps n'existe pas ; un enseignement situé dans ce paradigme ne demande pas à l'élève d'avoir un projet personnel mais de se conformer à ce qui a été dit. Cette conformisation est vérifiée par un contrôle des écarts à la norme des savoirs restitués. Les connaissances ont ici un caractère définitif et on peut estimer que les lobes frontaux humains sont ainsi peu sollicités dans leur fonction de dé-saisie.

Dans le P.T.S.I., les connaissances sont considérées seulement comme des représentations, des modélisations provisoires et approximatives de la réalité, la représentation du temps est intégrée, on sait que c'est progressivement que l'humanité a élaboré ses concepts, on sait aussi qu'il y a eu des obstacles, des erreurs, mais qu'ils ont servi à préciser chaque fois le domaine de validité des concepts et des théories. Un enseignant qui se situerait principalement dans le P.T.S.I. tiendrait compte du fait qu'un apprenant va lui aussi construire progressivement ses connaissances et que tous ses tâtonnements et erreurs font partie du chemin qui l'amènera à élaborer une représentation temporaire du monde et de lui-même ; la coopération de l'apprenant à ce projet est nécessaire et l'apprenant prend alors le statut de sujet.

D'un point de vue pratique et dans le cadre de l'étude concernant l'appropriation du concept de surface portante, un nouveau dispositif pédagogique a été élaboré. En travaillant en petit groupe, sur des problèmes que nous leur avons posés, chaque élève est amené à expliciter son point de vue, à le considérer comme une hypothèse, à argumenter et contre-argumenter. Plus le groupe est actif, plus rapidement les élèves réalisent que le vide n'est pas synonyme

d'apesanteur et ainsi surmonter cet obstacle en distinguant ces deux concepts. Dans la classe dite expérimentale, nous pensons, à la suite des tests survenus plus de trois semaines après le travail des élèves, qu'environ 75 % des élèves se sont construit le concept de surface portante. Dans les deux autres classes témoins, où l'enseignant a, soit à nouveau répété son cours sur les notions précédemment abordées concernant le vol animal, soit n'a procédé à aucun rappel, le nombre d'élèves s'étant approprié le concept reste inchangé.

Une des relations que j'établirais entre le fonctionnement des lobes frontaux et les attitudes cognitives de la démarche scientifique concerne la possibilité (différentiel n° 2) de se distancier du connu, de ce qui est admis, et d'abandonner un peu de la sécurité associée à ce "déjà là" (Favre, 1991). Ce changement se produit en formulant des énoncés sous forme d'hypothèse plutôt que sous forme dogmatique. Par exemple l'énoncé : " la feuille de papier pliée en boule tombe plus vite que la feuille lâchée à plat parce qu'elle est plus lourde !" pourrait être transformée ainsi : " je vois qu'elle tombe plus vite, serait-elle devenue plus lourde ?"

Cette possibilité de pouvoir remettre en question ses connaissances semble cependant être dépendante de la grande "sensibilité" des lobes frontaux au fonctionnement des structures nerveuses associées aux émotions et aux affects. Tout débordement émotionnel (dépressif ou euphorique) se traduit par une inhibition partielle des lobes frontaux dont chacun a pu constater les effets : diminution de l'attention, perte du sens critique, dogmatisation du discours ... En dehors de l'inhibition temporaire provoquée par ces états de débordement émotionnel, il est possible que le fonctionnement des lobes frontaux soit inhibé de manière plus chronique par des structures nerveuses sous-jacentes associées aux affects. Un des premiers effets de cette inhibition serait de ne plus permettre à un élève de se dégager d'un exercice qu'il sait déjà faire pour pouvoir accepter le risque et le déséquilibre passager que l'acquisition d'une nouvelle connaissance ou compétence rend nécessaire. À ce handicap s'en ajouterait un autre, également lié à un hypofonctionnement des lobes frontaux, qui serait la difficulté à se représenter l'avenir, le plaisir sous une forme différée et à se dégager ainsi de la logique d'immédiateté que l'on rencontre souvent dans les situations d'échec scolaire. De plus, un jeune enfant dont les lobes frontaux sont inachevés rencontre naturellement une difficulté à changer de stratégies et de représentations, à surmonter des ruptures épistémologiques. Cette difficulté serait-elle amoindrie si l'enfant était invité précocement à se familiariser avec la démarche scientifique ?

Certaines ruptures épistémologiques constituent des étapes plus ou moins incontournables dans la construction de ses savoirs et sont difficilement évitables pour l'apprenant. En repérant les obstacles à l'origine de cette rupture, on pourrait "aider" l'élève. Un nouvel exemple de cette aide consistant, au moment de l'apprentissage de la division par des nombres inférieurs à un, à l'inciter à vérifier que son expérience première de la division ne peut s'appliquer dans ce cas et que ce qu'on continue à appeler une division, avec le

formalisme lié à cette opération, masque en fait une multiplication. Mais surtout, il serait important d'éviter de surajouter d'autres obstacles engendrés artificiellement par le dispositif pédagogique ce qui aurait pour effet de rendre la rupture épistémologique très difficile. Cette difficulté s'illustre dans l'exemple d'une enfant à qui on a dit au début du CM2, lors de l'apprentissage de la division que pour vérifier grossièrement celle-ci, il suffisait de s'assurer que le quotient était bien inférieur au dividende. L'*évidence* montre en effet, disait le maître, que lorsqu'on divise un objet en partie, la partie est plus petite que le tout. Cette représentation de la division qui a été communiquée par le maître va être "sauvagement" mise en cause quelques mois plus tard quand est abordée la division par des nombres compris entre zéro et un. Comme le quotient devient supérieur au dividende, l'enfant ne comprend plus, elle vérifie que sa méthode de calcul est bonne et pourtant les résultats sont faux (en référence au système de représentation qu'elle a intégré). L'enfant va alors demander de l'aide à son père qui lui explique que son résultat est correct. Le comportement de l'enfant peut paraître surprenant : elle éclate en sanglots. La compréhension que j'ai de ce phénomène est basée sur le fait que je pense que processus cognitifs et processus affectifs ne sont pas dissociés et s'interpénètrent. Dans ce cas l'enfant est confrontée à une situation difficile sur le plan affectif et le dilemme se pose ainsi pour elle : soit son maître est un incapable soit son père est complètement stupide. L'enfant de dix ans a encore besoin d'avoir confiance et de pouvoir s'appuyer sur ces deux types d'adulte que représentent l'enseignant et le parent. Une telle déstabilisation aurait pu lui être évitée si l'enseignant sensibilisé lui-même auparavant au déplacement des indicateurs situés entre les deux paradigmes P.T.D.I. et P.T.S.I, et surtout à celui du 3ème, *avait précisé dès le début de l'apprentissage, le domaine de validité de la règle ou du constat..* Dans cet exemple "le quotient est toujours plus petit que le dividende", constat auquel il faut prendre soin d'ajouter "à condition que le diviseur soit plus grand que 1" pour ne pas placer l'élève dans un système auto-contradictoire quand il abordera les divisions par un nombre inférieur à 1 ! Les conséquences pour la suite de l'apprentissage en mathématiques peuvent être beaucoup plus importantes si l'enfant admet l'incohérence des deux systèmes de représentations : l'expression émotionnelle dans cet exemple permet d'identifier rapidement l'origine du problème et d'y remédier. Dans de nombreux autres cas l'apprenant plus âgé peut être en difficulté sans que l'enseignant soit à même d'identifier les représentations qui sont en cause. Il me semble que des ruptures épistémologiques, qui engendrent à leur tour blocages et sentiments d'échec ou des "désapprentissage" difficiles, pourraient être prévenues en utilisant les attitudes cognitives de la démarche scientifique pour concevoir un enseignement.

Conclusion

De cette étude concernant les propriétés des lobes frontaux on peut en conclure qu'une pédagogie fondée sur la notion de projet, sur la reconnaissance de l'apprenant

comme sujet de son apprentissage, en fait fondée sur des postulats et des valeurs humanistes, peut, en sollicitant l'usage de ses lobes frontaux, permettre à l'apprenant de s'inventer un avenir, passant ainsi d'une temporalité circulaire et prédictible à une temporalité ouverte et imprédictible comme semble l'être celle de l'évolution. Pour qu'une temporalité de ce type puisse exister, a été souligné l'intérêt que cette pédagogie désigne clairement les obstacles que l'apprenant peut rencontrer dans son activité d'appropriation des connaissances et ainsi explicite ce dont il doit se dessaisir pour pouvoir continuer à apprendre.

Je souhaiterais également terminer en interrogeant la pertinence épistémologique des liens que j'ai essayé d'établir entre le domaine de la neurobiologie qui a pour objet initial l'étude du système nerveux et celui des sciences de l'éducation qui se sont données pour objet l'étude des situations d'apprentissage. Ces deux types d'approche visent à permettre aux hommes de mieux comprendre l'homme. Les méthodes, les grilles de lecture diffèrent, les angles d'approche également mais en commun les scientifiques de ces différentes disciplines semblent partager non pas un langage mais des attitudes cognitives qui définissent un paradigme de traitement scientifique des informations. Ce qui me paraît stérilisant pour la pensée, anti-heuristique, ce serait de céder à la tentation de vouloir tout expliquer avec une seule grille de lecture : ainsi apprendre ce ne serait que stabiliser des réseaux synaptiques pour les uns tandis que pour les autres ce ne serait que sublimer des pulsions ou pour d'autres encore ce ne serait qu'un moyen de se différencier socialement et d'être au dessus de la mêlée. Renoncer à l'hégémonie d'un seul point de vue, d'une seule façon de s'expliquer causalement la réalité, conduit selon moi à accepter que la réalité complexe humaine puisse être abordée selon des axes différents dont la prise en compte par les uns et par les autres peut conduire à de nouvelles pistes de recherche, de nouvelles façons de se poser des questions et de *nouvelles façons de valider* les réponses.

Lors d'un précédent travail (Pinson et Favre, 1985), nous avons tenté de montrer qu'il était possible de développer un fonctionnement logique et un mode de validation mimant les propriétés de l'hologramme. Dans un hologramme, l'image est formée de points mais elle diffère fondamentalement par ailleurs des images classiques dans la mesure où chacun de ses points possède une information sur l'ensemble de l'image, sur le contexte. Nommée ensuite principe hologrammatique par Morin (1987), cette propriété semble être une caractéristique fondamentale de la complexité. Cette particularité repose sur un mode de traitement de l'information pour lequel notre cerveau semble tout à fait équipé (Favre, 1985). Dans cette hypothèse, on arrive à un mode de validation compatible avec le progrès et la relativité de la pensée : l'image vérifie le ou les points qui participent à sa construction. Un exemple de "validation holographique" est donné par la vérification d'un mot par l'ensemble des mots à l'intérieur d'une grille de mots croisés. Réciproquement la validité de la grille de mots croisés réside dans la cohérence produite par les éléments qui la composent. En ce qui concerne la validation d'une théorie, Tabary (1987) note qu'"un complément de validation apparaît, lié à

l'accord holographique entre théories. Psychologie, biologie et physique sont considérées comme des approches différentes d'une réalité commune qui ne peuvent se valider que par l'accord dont elles font preuve ; dans ce cadre le paradigme holographique exprime la nature du lien entre l'élément et la totalité, et doit se retrouver constamment sous une forme ou une autre dans toutes les analyses cognitives".

Ayant explicité les arguments d'ordre épistémologique qui m'ont guidé dans l'établissement de rapports pouvant exister entre le fonctionnement des lobes frontaux et des situations d'apprentissage, je laisse au lecteur le soin de statuer sur l'intérêt et la légitimité scientifique d'une telle étude et demeure disponible pour en débattre.

Bibliographie

- Ardoino J. (1984) Pédagogie du projet éducatif. *Pour*, 94 : 5-13.
- Ardoino J. (1987) Finalement, il n'est pas de pédagogie sans projet. *Éduc. perm.* 87 : 153-165
- Bachelard G. (1938) *La formation de l'esprit scientifique*. Éd. Vrin (1987), Paris.
- Barone P. and Joseph J. P. (1989) Prefrontal cortex and spatial sequencing in macaque monkey, *Exp. Brain Res.*, 78 : 447-464.
- Boutinet J.P. (1986) Le concept de projet et ses niveaux d'appréhension. *Éduc. perm.* 86 : 5-26
- Boutinet J.P. (1990) *Anthropologie du projet*. P.U.F., Paris.
- Changeux J.P. (1983) *L'homme neuronal*. Fayard, Paris.
- Changeux J.P. (1992) Les neurones de la raison. *La Recherche* 244, vol. 23 : 705-713.
- Favre D. (1985) L'hologrammormorphisme cérébral pp. 73-86. *La pensée : approche holographique*, Pinson G., Demailly A. et Favre D. Éds. Presses Universitaires de Lyon.
- Favre D. (1990) : Démarche scientifique et mobilité des représentations, Actes du colloque international de la Société Française de Chimie : "Les représentations, méthodes d'études et résultats, pp. 7-13, 26-31 octobre, La Grande Motte.
- Favre D. (1991) : Démarche scientifique et pédagogie. *Transversales Science/Culture* 8 : 12-13.
- Favre D. et Rancoule Y. (1992) : Modéliser la démarche scientifique pour pouvoir l'enseigner. Actes des XIV^e Journées sur l'Éducation Scientifique de Chamonix, 28-31 janvier.
- Favre D. (1988) Apprentissages précoces : apprentissage ou conditionnement ? *Les Cahiers du Centre de Recherche Formation Enfance Adolescence*, n° 1, pp. 75-78.
- Favre C. et Favre D. (1991) Naissance du quatrième type : Une approche transdisciplinaire de l'évolution humaine, Éd. Le Souffle d'Or, Barret-le-Bas.
- Favre D. et Rancoule Y. (1993) : Peut-on décontextualiser la démarche scientifique? article à paraître dans la revue *Aster* n°16.
- Fuster J.M. (1989) *The prefrontal cortex - Anatomy, Physiology and Neuropsychology of the frontal lobe*. Raven Press New York.
- Gaspard P. et Berger B. (1989) Aspects évolutifs des circuits monoaminergiques du cortex préfrontal, des rongeurs aux primates non-humains et à l'homme. Actes du 3^e Colloque National des Neurosciences, Montpellier 9-12 mai.
- Giordan A. et De Vecchi G. (1987) *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts*. Éds. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel-Paris.
- Goodglass H. and Kaplan E. (1979) Assesment of cognitive deficit in the brain-injured patient. In "Hand book of behavioral neurology", vol. 2 *Neuropsychology* : 3-22. Plenum press, New York and London.

- Grafman J., Vance S.C., Weingartner H., Salzar A.M. and Amin D. (1986) The effects of lateralized frontal lesions on mood regulation. *Brain*, 109 : 1127-1148.
- Grant D.A. and Berg E.A. (1948) A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type-card-sorting problem. *J. Exp. Psychol.*, 38 : 404-411.
- Huttenlocher P.R. (1979) Synaptic density in human frontal cortex - developmental changes and effects of aging. *Brain Res.*, 163 : 195-205.
- Jacobsen C.F. (1931) A study of cerebral function in learning : the frontal lobes. *J. Comp. Neurol.*, 52 : 271-340.
- Khanna S. (1988) Obsessive-compulsive disorder : is there a frontal lobe disfunction ? *Biol. Psychiatry*, 24 : 602-613.
- Lhermitte F, Pillon B. and Serdaru M. (1986) Human autonomy and the frontal lobe. Part I : Imitation and Utilisation Behaviour : a neuropsychological study of 75 patients. *Ann. of Neurology*, 19 : 326-334.
- Lynch G. and Baudry M. (1984) The biochemistry of memory - a new and specific theory. *Science*, 224 : 1057-1053.
- Martinand J.L. (1986) *Connaître et transformer la matière : des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Berne , Peter Lang.
- Maubant P. (1992) De l'acte d'apprendre à l'acte de former. Colloque de la Mission Académique à la Formation des Personnels de l'Éducation Nationale : Pour un Projet de Réussite, Montpellier - 20 mai.
- Milner B. and Petrides M. (1984) Behavioural effects of frontal-lobe lesions in man. *T.I.N.S.* november : 403-407.
- Morin E. (1987) *La connaissance de la connaissance, La Méthode, Tome 3-1.*, Paris, Le Seuil.
- Nelson H.E. (1976) A modified card sorting test sensitive to frontal lobe defects. *Cortex*, 12 : 313-324.
- Obin J.P. et Weber A. (1987) Le projet d'établissement scolaire de l'imaginaire à la réalité. *Éduc. perm.* 87 : 49-64.
- Pinson G. et Favre D. (1985) Hologrammorphisme et logique holoscopique pp 41-70. *La pensée : approche holographique*, Pinson G., Demailly A. et Favre D. Édés.. P. U. de Lyon.
- Savatier P., Trabuchet G., Chelbloune Y., Faure C., Verdier G. and Nigon V.M. (1987) Nucleotide sequence of the delta beta globine intergenic segment in the macaque : structure and evolutionary rates in higher primates. *J. Mol. Evol.* 24 : 297-308.
- Tabary J. C. (1987) Le paradigme holographique. *Revue Internationale de Systémique*, 1 , n° 2, 159-180.
- Terry R.D., Masliah E., Salmon D.P., Butters N., DeTeresa R., Hill R., Hansen L. and Katzman R. (1991) Physical basis of cognitive alterations in Alzheimer's disease : synapse loss is the major correlation of cognitive impairment. *Ann. of Neurology*, 30 : 572-580.

Tzourio N; et Mazoyer B. (1991) Les images du cerveau actif. Science et vie H.S n°177 : 6-14.

Vassileff J. (1992) Histoires de vie et pédagogie du projet. Chroniques sociales, Lyon.

Weinberger D.R. (1988) Schizophrenia and the frontal lobe. T.I.N.S., 11 n°8 : 367-370.