

Daniel FAVRE
Enseignant - chercheur CP 089
Laboratoire de Modélisation de la
Relation Pédagogique
Université de Montpellier II
34095 Montpellier cedex 5

Catherine FAVRE
Psychologue clinicienne, formatrice à
L'institut de Recherche et
d'Information bio-Sociale,
125, rue des Chanterelles
34980 St Gély du Fesc

CONNAISSANCE DES LOBES FRONTAUX : IMPLICATIONS PÉDAGOGIQUES ET CLINIQUES

par Daniel FAVRE et Catherine FAVRE

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. 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 d'où leur appellation quelquefois de "visceral brain". Un problème complexe se pose à chaque être humain : surmonter les conséquences psycho-sociologiques que pose l'inévitable décalage de maturation existant entre la partie nerveuse fonctionnellement corrélée avec nos émotions et la répétition des comportements, et la partie nerveuse apparemment nécessaire pour organiser des activités délibérées. La prise en compte de l'existence de ce décalage dans les différentes grilles de lecture que nous pouvons avoir de l'éducation, pourrait permettre d'inventer des dispositifs pédagogiques et thérapeutiques mieux adaptés.

Knowledge of frontal lobes : pedagogical and clinical implications

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, consequently, sometimes they are called the visceral brain. Each human being thus faces a complex problem - how to overcome the psycho-sociological consequences resulting from the inevitable discrepancy between the maturation of the part of the nervous system functionally correlated with our emotions and instinctive behaviour, and the part of the nervous system apparently needed to organize deliberate activities. We may be able to invent more appropriate teaching and langage therapy systems by taking into account this discrepancy in the various reading scales that we may have of education.

Mots-clés : Apprentissage - Développement - Organisation temporelle - Enseignement -
Thérapie - Lobes frontaux.

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 phylogénèse 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* 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'*Australopithecus gracilis* et *Homo habilis* de 500 cm³; il y a 1,5 million d'années émerge *Homo erectus* avec 800 cm³ puis *Homo sapiens* il y a 200 000 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*.

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*. 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 semble 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 rendent peu aptes à élaborer des projets*, il nous 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.

Nous aborderons 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. Nous terminerons en essayant d'identifier parmi les pratiques pédagogiques celles qui pourraient se traduire sur le plan neurobiologique par une activation des lobes

*Lhermitte et coll, 1986

*Milner et Petrides, 1984, Lhermitte et coll, 1986, Fuster, 1989

*P. Maubant, 1992

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'ontogénèse 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*. 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.

*Fuster, 1989 p. 31 et 177

Cette forte interconnection 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*. 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 diencephale, 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 nous semble important à intégrer dans la représentation que l'on peut avoir d'un jeune apprenant.

*Fuster, 1989, p.177

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 développées. Environ six mois après la naissance, ces dendrites seront de 5 à 10 fois plus longues 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*, 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*.

*Gaspard et Berger, 1989

*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*. 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* : 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,

*Favre C. et Favre D., 1991 p. 79-87 et 145-180

*Favre, 1988

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 pas 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*. Plus rarement il peut présenter un syndrome d'euphorie labile*. 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*, 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*.

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*. 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*. 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 ?

*Goodglass et Kaplan, 1979

*Grafman et coll., 1986

*Lhermitte et coll., 1986

*Jacobsen, 1931

*Cf Changeux, 1992

*Milner et Petrides, 1984

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. A notre 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*, 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 USA. 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 psychochirurgie. 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*", 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 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 répa-

*Khanna, 1988

*Tzourio et Mazoyer, 1991

*Tzourio et Mazoyer, 1991

rent pas*. 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 nous 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 Rhesus, 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 temporels 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 ?

Nous intéressant également à la pédagogie, nous n'avons 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 nous ne pouvons 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"*.

Il ne reste plus, et ce n'est pas simple, nous 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*. 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, déteenus ...), 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)*. La pédagogie du projet pourrait ainsi constituer un des moyens d'inciter une catégorie de public en voie de marginalisation : les élèves en échec scolaire, à prendre ou reprendre goût aux situations d'apprentissage. Nous ne sommes pas les premiers à penser cela et il nous 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 projets 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

³Communication au colloque de l'AFIRSE du 27-30 mai 1992 à Lyon

*Obin et Weber, 1987

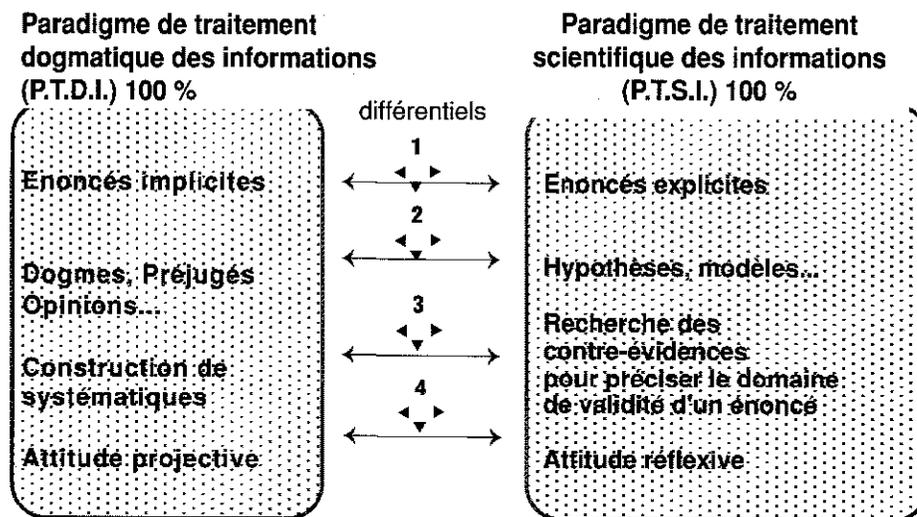
*Ardoino, 1987

*Vassileff, 1992 p. 66-88

emploi du temps à celle où ils vont devoir, en utilisant le cahier de texte et l'emploi du temps fourni par le collège, retrouver par eux-mêmes les différents enseignants situés dans des salles différentes, prévoir les livres et cahiers qu'ils devront amener 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 notre 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. A 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 hypo-fonctionnement frontal ou à un banal syndrome de paresse ?!

Parmi les pratiques pédagogiques pouvant faciliter le passage en référence interne d'un apprenant, nous souhaiterions en décrire une qui découle d'une modélisation des attitudes cognitives de la démarche scientifique* et qui a permis il y a quelques années de définir deux paradigmes opposés de traitement des informations : le paradigme de traitement dogmatique (PTDI) et le paradigme scientifique (PTSI). Ces paradigmes sont caractérisés par huit attitudes cognitives opposées deux à deux :

*Favre, 1990, 1991, 1992



SENS DU DÉPLACEMENT FAVORISÉ PAR LA DÉMARCHÉ SCIENTIFIQUE



Le PTDI 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 ensei-

gnant 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 lobes frontaux humains sont ainsi peu sollicités.

Dans le PTSI, les connaissances ne sont considérées que 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 dans le PTSI 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 provisoire du monde et de lui-même ; la coopération de l'apprenant à ce projet est importante et l'apprenant prend alors le statut de sujet.

*Favre, 1991

Le premier type de lien que nous établirions entre le fonctionnement des lobes frontaux et ces capacités cognitives concerne la possibilité (différentiel n° 2) de se détacher du connu, du passé, de la sécurité associée au "déjà là"* en formulant des énoncés sous forme d'hypothèse plutôt que sous forme dogmatique. Exemple : "ce problème de maths n'a pas de solution" pourrait devenir : "suis-je complètement sûr que ce problème n'a aucune solution ?" ou "la feuille de papier pliée en boule tombe plus vite que la feuille lâchée à plat parce qu'elle est plus lourde !" pourrait être reformulé ainsi : "je vois qu'elle tombe plus vite, serait-elle devenue plus lourde ?"

Le second type de lien concerne la grande "sensibilité" des lobes frontaux au fonctionnement des structures nerveuses associées aux émotions et aux affects. Tout débordement émotionnel (dépressif ou euphorique) peut se traduire par une inhibition partielle des lobes frontaux dont chacun a pu, peut-être, constater les effets : diminution de l'attention, perte du sens critique, dogmatisation du discours... En dehors de ces états de débordement émotionnel temporaires, au deçà desquels l'apprentissage resterait possible, il existe des situations où le fonctionnement des lobes frontaux pourrait être 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, le déséquilibre passager obligé pour l'acquisition d'une nouvelle compétence. Cet handicap serait renforcé par un autre handicap également lié à un hypofonctionnement des lobes frontaux qui serait la difficulté de se représenter l'avenir, le plaisir différé et à se dégager ainsi de la logique d'immédiateté que l'on rencontre souvent dans les situations d'échec scolaire. Un 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 pourrait être accrue lorsque, sous l'effet de troubles affectifs par exemple, les lobes frontaux sont susceptibles d'être moins activés. Si certaines ruptures épistémologiques qui constituent des étapes plus ou moins incontournables dans la construction de ses savoirs sont inévitables pour l'apprenant, il serait important de lui en éviter d'autres engendrées artificiellement par le dispositif pédagogique. Ainsi, l'enseignant sensibilisé lui-même auparavant au déplacement des indicateurs situés entre les deux paradigmes PTDI et PTSI, et surtout à celui du 3e, serait en mesure d'éviter à l'élève des "désapprentissage" difficiles, en précisant dès le début d'un apprentissage, le domaine de validité d'une règle ou d'un constat. 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 de 1" pour ne pas placer l'élève dans un système auto-contradictoire quand il abordera les divisions par un nombre inférieur à 1 ! Nous avons souvent constaté en effet que des ruptures épistémologiques - qui engendrent à leur tour blocages et échecs - peuvent être évitées lorsque les enseignants utilisent les attitudes cognitives de la démarche scientifique pour concevoir leur enseignement.

V - Approche clinique

Certains signes comportementaux peuvent indiquer un hypofonctionnement des lobes frontaux, hypofonctionnement qui, en l'absence de lésions, peut être considéré comme

transitoire et réversible. De l'étude des caractéristiques fonctionnelles de ces structures nerveuses, il ressort qu'une sous-activité devrait se traduire chez l'enfant par :

- 1) une capacité moindre de canaliser ses émotions (chagrin, peur, joie, colère...) et à ne pas se laisser submerger par elles ;
- 2) une identification comportementale fréquente avec les personnes de l'environnement proche, l'enfant imite alors leurs gestes et postures ;
- 3) une difficulté à diriger et maintenir l'attention se traduisant par une distractibilité supérieure à celle qu'on pourrait attendre d'un enfant de cet âge ;
- 4) une propension aux erreurs dites de persévération ("persévérance") où, malgré le fait qu'il ait entendu que sa procédure est inadéquate pour effectuer une tâche, l'enfant persiste et reproduit le comportement qui aboutit à l'erreur ;
- 5) une logique de l'immédiateté qui rend difficile son adhésion à un projet à moyen et à long terme ;
- 6) une difficulté à décider, à trancher, durablement.

Ces six symptômes sont à relativiser en fonction de l'âge réel de l'enfant. Les lobes frontaux se développant progressivement, c'est donc davantage l'écart entre les performances attendues à un âge donné et celles extériorisées par tel enfant, qui peut indiquer un éventuel hypofonctionnement frontal. Cependant, faire un tel constat serait peu utile si la connaissance des lobes frontaux ne permettait pas d'imaginer des remédiations thérapeutiques qui auraient, entre autres, pour effet de les solliciter. N'étant pas praticiens de la rééducation du langage, nous ne ferons que baliser quelques pistes, laissant aux spécialistes le soin d'inventer (grâce à leurs propres lobes frontaux !) de nouvelles stratégies.

Les voici :

1°) proposer, dans le cadre d'une ambiance "accueillante et sécurisante", des jeux simples nécessitant pour l'enfant la résolution de "problèmes non-routiniers". L'objectif est que l'enfant éprouve du plaisir dans des situations où les "règles du jeu" changent et pas seulement lorsqu'il retrouve ce qu'il connaît déjà ou ce qu'il sait faire. "Veux-tu que je te montre un nouveau jeu ? essayer d'une autre façon ? on pourrait essayer avec la tête en bas ?" sont des exemples de propositions. La progressivité en difficulté et en durée paraît nécessaire en prenant soin de s'arrêter avant que l'enfant ne ressente l'envie de le faire. Exemples de tâches non-routinières : les exercices de la méthode Simone Ramain, des énigmes à résoudre...

2°) amener l'enfant à prendre une décision, chaque fois que c'est possible, en lui fournissant un nombre de choix limité : "Veux-tu venir le matin ou l'après-midi ; commencer par ce livre ou celui là ; t'arrêter quelques minutes ou non ? Aimerais-tu savoir lire très bien, moyennement, un tout petit peu...?" et accepter ce choix en le reproposant ultérieurement à l'enfant.

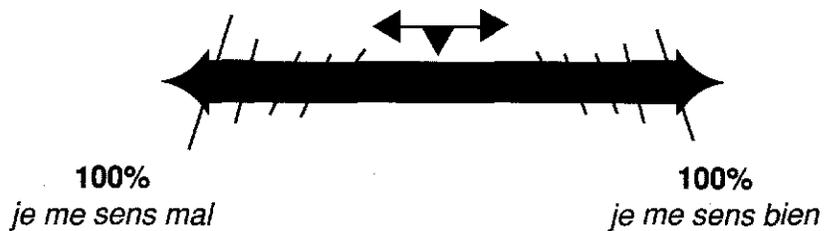
3°) inciter l'enfant à se projeter dans l'avenir : "Qu'est-ce que tu aimerais réussir dans cette séance d'aujourd'hui et dans celle de demain ?".

Ce dernier type de questionnement pourrait devenir thérapeutique s'il permet à l'enfant de prendre conscience qu'il peut avoir des désirs et des peurs contradictoires. En se référant à un modèle complexe des motivations publié récemment*, des questions pourraient être posées à l'enfant en difficulté dans ses apprentissages fondamentaux : "Et si demain, tu parlais bien, écrivais sans erreur, etc, qu'est-ce qui changerait dans ta vie ? Cela te plairait-il ? Complètement ?" Cette approche verbale des difficultés de l'enfant, pour être efficace et non intrusive ne devrait pas être dissociée d'une attitude empathique authentique*. De telle façon que l'enfant, se sentant accepté avec son ressenti, puisse s'accepter à son tour et se donner le droit de ressentir des émotions souvent refoulées comme : "Si je grandis, j'ai peur qu'on ne m'aime plus ; si je réussis à l'école on s'occupera moins de moi ; maintenant que ma sœur est née, il n'y a que lorsque je suis malade que j'ai de l'importance pour les autres".

Comme on l'a vu dans le chapitre IV, le fonctionnement des lobes frontaux est tributaire de l'état émotionnel du sujet. Chacun a pu déjà sans doute constater que les débordements émotionnels (tristesse, anxiété, euphorie...) ont souvent un effet inhibiteur temporaire sur nos capacités cognitives et nos performances dans un apprentissage. En utilisant un différentiel, on pourrait schématiser ainsi cet effet :

*Favre et Favre, 1991, p. 221-23

*Favre et Favre, 1991, p. 221-223



Ce n'est que lorsque le curseur est hors des zones hachurées que les lobes frontaux seraient vraiment opérationnels. Il en découle qu'un problème affectif non résolu, un deuil non fait, une situation socio-familiale particulière peuvent amener l'enfant à être émotionnellement "coincé" dans les zones hachurées : il devient alors inapte ou presque à l'apprentissage. Les thérapeutiques imaginées précédemment, en restaurant une relation affective et ludique, en sollicitant la pulsion d'exploration, l'attention, l'imagination et le pouvoir de décision, peuvent participer à "décoincer" l'enfant et lui donner envie d'accepter l'écoulement du temps, les deuils et les changements qu'il impose.

Deux limites nous paraissent persister cependant à une action thérapeutique de ce type. La première concerne la capacité du thérapeute à établir une relation combinant accueil empathique et exigence avec un enfant donné. La seconde nous semble relevant de l'enfant lui-même. Si on se le représente comme une personne en devenir, alors son droit imprescriptible en tant que sujet est la possibilité de dire "non" à l'aide qu'on souhaite lui apporter. Le thérapeute pourra-t-il accueillir ce "non provisoire de l'enfant" à la perspective de changement que comporte potentiellement toute proposition de rééducation ou de thérapie ? Pourtant cette possibilité laissée à l'enfant d'exprimer son "non" représente une prise de décision et à ce titre favorise l'usage de ses lobes frontaux.



Conclusion

De cette étude concernant les propriétés des lobes frontaux on peut conclure qu'une pédagogie fondée sur la notion de projet sur la reconnaissance de l'apprenant comme un sujet en devenir et 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 et du même coup de faire le deuil de ce qui le retient dans un passé répétitif, autrement dit de passer d'une temporalité fermée ou circulaire et prédictible à une temporalité ouverte imprédictible comme semble l'être celle de l'évolution.

Nous souhaiterions également terminer en interrogeant la pertinence épistémologique des liens que nous avons essayé d'établir entre le domaine de la neurobiologie qui a 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 différentes, 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 nous 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 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 nous 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*, 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 : l'image est formée de points mais elle diffère fondamentalement par

* Pinson et Favre, 1985

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*. 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".

* Favre, 1985

Ayant explicité les arguments d'ordre épistémologique qui nous ont guidés dans l'établissement de rapports pouvant exister entre le fonctionnement des lobes frontaux et les situations d'apprentissage, nous laissons au lecteur le soin de statuer sur l'intérêt et la légitimité scientifique d'une telle étude et demeurons disponibles 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. Educ. perm. 87 : 153-165.
- BOUTINET J.P. (1986) Le concept de projet et ses niveaux d'appréhension. Educ. 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'hologrammisme cérébral pp 73-86. La pensée : approche holographique, Pinson G., Demailly A. et Favre D. Ed. 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. Transversale Science/Culture 8: 12-12.
- FAVRE D. et RANCOULE Y. (1992) : Modéliser la démarche scientifique pour pouvoir l'enseigner. Actes des XIVe Journées sur l'Education 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, Ed. Le Souffle d'Or, Barret-le-Bas.
- 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. Acte du 3ème Colloque, National des Neurosciences, Montpellier 9-12 mai.
- GOODGLASS H. and KAPLAN E. (1979) Assesment of cognitive deficit in the brain-injured patient. In "Hand book of behavioral enurology", 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 behavior analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type-card-sorting problem. J. Exp. Psychol., 38 : 408-311.
- HUTTELOCHER 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, 245 : 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.
- LYNCK G. and BAUDRY M. (1984) The biochemistry of memory - a new and specific theory. Science, 224 : 1057-1053.
- 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'Education 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. *Educ. 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. Ed. 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.
- 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. (Trends In Neuro-Sciences)*, 11 n° 8 : 367-370.