

## NEUROBIOLOGIE ET PÉDAGOGIE

### « L'Homme neuronal » en situation d'apprentissage

par Ch. HADJI

*Certains travaux récents de neurobiologie et, en particulier, ceux de J.-P. Changeux, apportent des éléments de réponse décisifs à deux questions essentielles pour la pédagogie, touchant aux processus d'apprentissage. L'homme neuronal, en premier lieu, rend compte de la réalité de l'activité d'apprentissage à l'aide d'un modèle permettant de comprendre à la fois l'importance spécifique considérable des mécanismes génétiques et le jeu du processus épigénétique de « stabilisation sélective » grâce auquel l'individu construit et combine des « objets mentaux ». Il est alors possible d'esquisser une stratégie pédagogique visant un développement « à moindre perte », l'école devenant le lieu privilégié de l'apprentissage de la pensée, ce que l'on appelle « intelligence » n'étant rien d'autre que le produit d'un exercice fonctionnel. Ainsi, la neurobiologie manifeste sa capacité de devenir le « noyau dur » d'une anthropologie animée par un questionnement philosophique, qui pourrait bien être, aujourd'hui, une voie obligée pour la réflexion pédagogique.*

Toute tentative pour instaurer une pédagogie cohérente implique un savoir concernant les processus d'apprentissage. Comme le notait, à juste titre, Paul Guillaume, « pour dépasser l'empirisme, il faudrait s'appuyer sur la connaissance des lois » qui gouvernent les acquisitions (Guillaume, 1968, p. 1). Or, la problématique de l'apprentissage a été considérablement enrichie, ces dix dernières années, par une série de travaux se situant non pas, comme on aurait pu l'espérer, avec Paul Guillaume, dans le champ de la psychologie, mais dans celui d'une discipline aujourd'hui fondamentale, la neurobiologie. Et, en ce domaine, la publication récente de *L'homme neuronal* apporte un éclairage particulièrement instructif sur les processus nerveux qui constituent ce que l'on a coutume d'appeler la vie de l'esprit, et offre ainsi au pédagogue les matériaux propices à une réflexion sur les mécanismes en jeu dans tout procès d'éducation. Nous voudrions, en mettant en évidence les éléments de réponse apportés par les travaux de J.-P. Changeux à deux questions pédagogiques essentielles : 1) Qu'est-ce qu'apprendre ? 2) Peut-on, et comment, aider quelqu'un à apprendre ? faire entrevoir la validité de l'hypothèse selon laquelle les progrès de la réflexion pédagogique dépendent beaucoup plus des disciplines qui constituent, au sens large, l'anthropologie, que de celles qui prennent directement pour objet le champ pédagogique lui-même.

#### I. — QU'EST-CE QU'APPRENDRE ?

Les théories classiques du conditionnement n'ont pas permis à la pédagogie de dépasser véritablement le stade de l'empirisme tâtonnant. N'est-ce pas parce que, n'apportant, au mieux, qu'un éclairage indirect, elles n'instruisent guère sur les mécanismes précis de l'apprentissage, comme en témoignent les débats sur le rôle exact de la répétition (cf. Guillaume, 1968), ou sur la nature précise du renforcement instrumental (cf. Le Ny, 1972) ? L'on peut peut-être comprendre, à partir de là, comment Chomsky ou Fodor en sont venus à affirmer que l'apprentissage n'existe pas (in Massimo Piattelli-Palmarini, 1979). Pour eux, les difficultés éprouvées pour construire une théorie générale de l'apprentissage devraient nous instruire sur la vacuité du concept d'acquisition. On ne peut acquérir ni capacité nouvelle (Chomsky), ni concept nouveau (Fodor). Parler d'apprentissage à propos du langage, par exemple, équivaut à utiliser une mauvaise métaphore : « nous devrions parler de croissance (growth)... ou de quelque chose comme cela » (Chomsky, id. p. 122). Ce que l'on perçoit comme acquisition relève plutôt de la « maturation progressive d'une structure spécialisée » (id. p. 123). De telles thèses tendent à privilégier la dimension innée du comportement dont, avec les termes de croissance, ou de maturation, elles mettent en

relief la détermination biologique. Mais en refusant les concepts d'enrichissement et de progrès, elles laissent totalement inintelligible le problème de l'enseignement, et ne permettent pas de comprendre par quel « mystère » s'effectue l'acte d'apprendre, qui est pourtant une réalité quotidienne. Le mérite essentiel des analyses de J.-P. Changeux est de proposer un modèle rendant intelligible l'apprentissage, dont la réalité ne pourra plus être contestée, en se référant à la fois à des mécanismes génétiques et « épigénétiques ».

## 1. Apprendre

« Apprendre, c'est stabiliser des combinaisons synaptiques préétablies » (Changeux, 1983, p. 329). Cette théorie de l'apprentissage « par stabilisation sélective de synapses en cours de développement » fut soutenue en particulier par J.-P. Changeux et Antoine Danchin lors du colloque sur l'Unité de l'homme tenu à l'Abbaye de Royaumont en septembre 1972. L'idée de départ est qu'il convient d'étudier la « fonction d'apprendre » comme une fonction fondamentale du système nerveux central. Or « toutes les opérations accomplies par le système nerveux... ont une base structurale. Elles sont accomplies par les cellules nerveuses ou neurones, et par leurs prolongements dendritiques ou axoniques » (in E. Morin, M. Piattelli-Palmarini, 1974, pp. 58-59). L'essentiel de l'apprentissage se situe donc au niveau des synapses(1) qui « constituent les surfaces ultimes de communication entre les neurones ». Apprendre équivaut à « modifier » temporellement le système neuronal en « créant » des circuits particuliers (qui seront appelés des graphes) par stabilisation d'un réseau de neurones : en établissant donc des « connexions stables » (id. p. 69) à partir d'une multiplicité de contacts transitoires. Le graphe est l'« ensemble topologiquement défini de cellules nerveuses » (Changeux, 1983, p. 167) qui, selon une image proposée par Antoine Danchin, a été « sculpté dans la masse du réseau » (A. Danchin, 1977, p. 351). Ainsi, « dans un ensemble donné de connexions possibles fournies par le programme génétique, l'activité stabilise certaines d'entre elles suivant un schéma bien défini » (1974, p. 79). L'apprentissage, qui se caractérise par la « création » de graphes particuliers, dépend bien à la fois de mécanismes génétiques et épigénétiques.

« L'aptitude à l'apprentissage » est « très largement sous contrôle génétique » (Changeux, 1977, p. 327) : tel est le pouvoir des gènes, pouvoir « évident » (1983, p. 271). « L'assemblage de la machine cérébrale » (p. 266), qui rend compte de la capacité d'apprendre, est réalisé définitivement avant la naissance. La mise en place des neurones du cortex est ainsi le fruit d'un strict déterminisme génétique. Mais « l'expression différentielle des gènes n'explique pas, simplement, l'extrême diversité et

la « spécificité » des connexions entre neurones » (p. 276). La mise en place du réseau de connexions nerveuses (le « découpage » des graphes) s'effectue au cours de la « croissance » (p. 284) : telle est la part de l'épigénèse, que Danchin définit comme « la formation d'une organisation, par interaction avec l'environnement », au cours du développement (Danchin, 1977, p. 349). Ainsi, la topologie précise du réseau d'inter-connexions neuronales est le produit propre, la marque, le résultat de l'apprentissage qui réalise la capacité d'apprendre.

De cette description de la dimension structurale (neuronique) du comportement d'apprentissage découlent deux conséquences fondamentales pour les processus pédagogiques. La première a déjà été énoncée : l'apprentissage n'est pas ce mythe dénoncé par Chomsky et Fodor ; il n'est pas possible de mettre en doute la réalité du comportement par lequel le sujet humain apprend, c'est-à-dire « trace » des graphes qui seront le support de modèles particuliers de comportement. Les notions d'acquisition et de progrès ont bien leur place dans le vocabulaire pédagogique. La seconde est que la capacité d'apprendre est limitée. Mais il convient de bien préciser ce qu'il en est de ces limites, afin d'éviter les malheureux contresens qu'entraîne, trop souvent, l'utilisation d'un concept tel que celui de don.

## 2. Apprentissage et progrès : les limites de la capacité d'apprendre

Henri Atlan dit excellemment que « le processus d'apprentissage peut être compris comme une création de **pattems** par diminution de redondance, où des spécifications de **patterns** bien particuliers en excluent d'autres » (Atlan, 1974, p. 212). Il nous semble que cela traduit parfaitement la théorie présentée par Changeux. On pourrait parler, dans le même sens, avec André Béjin, d'un « procès de différenciation créatrice »(2). L'apprentissage se traduit par la diminution d'une redondance initiale et l'augmentation de la spécification par différenciation. Quelque chose diminue, et nécessairement : situation que le psychologue Jacques Mehler a exprimée dans la théorie du « développement par perte » (il convient de « considérer la croissance comme la perte successive de capacités innées ») (J. Mehler, 1974, p. 27). Pour qu'une possibilité de choix, de sélection, de découpage, existe, une certaine redondance, au moins transitoire, est nécessaire. Et, de fait, il y a du « plus » dans l'organisation neuronale : d'une part, au niveau du récepteur synaptique : « la fibre embryonnaire produit au départ un très large excès de récepteur » (Changeux, 1983, p. 299). On y trouve « beaucoup plus de récepteur qu'il n'en faut pour construire la synapse » (id. p. 298) ; d'autre part, au niveau des terminaisons nerveuses (branches axonales et dendritiques) : à certaines périodes, « les arborisations axonales

et dendritiques bourgeonnent et s'épanouissent de manière exubérante » (id. p. 301). Cette redondance du réseau de connectivité, qui n'est que transitoire, sera réduite par l'activité, qui assure la stabilisation de certaines synapses « au détriment des autres » (p. 306). Des neurones meurent ; des synapses disparaissent. L'activité nerveuse, qui est le fondement de la « régulation épigénétique », dans un même mouvement sauvegarde les capacités fonctionnelles et réduit la redondance — autrement dit contribue à la perte de « potentialités » en donnant forme au réseau, puisque, dans tous les cas, les synapses non activées dégèrent. Perte de redondance et spécification ne sont que les deux faces d'un même processus. On pourrait dire que l'organisme qui apprend joue « à qui perd gagne ». Il n'y a de gain que sur fond de perte : « apprendre, c'est éliminer » (Changeux, 1979, p. 286) puisque « c'est stabiliser des combinaisons synaptiques préétablies » mais « aussi éliminer les autres » (1983, p. 329). Mais la stabilisation sélective, non seulement sauvegarde, d'une façon générale, les capacités innées, mais encore traduit, exprime, représente, une « faille » dans le déterminisme génétique de l'organisation fonctionnelle du système nerveux, faille qui est à l'origine de « l'acquisition de performances nouvelles » (Changeux, 1979, pp. 286 et 287). Le comportement s'enrichit véritablement, non pas sous le simple effet de l'action de l'environnement (ce qui conduirait à une théorie « instructive » que Changeux condamne), mais par découpage stabilisateur « sur des dispositions de neurones et de connexions qui pré-existent à l'interaction avec le monde extérieur » (1983, p. 329). « L'enveloppe génétique offre un réseau vaguement esquissé, l'activité en définit les angles » (1979, p. 285).

Cette notion d'enveloppe génétique nous permet de bien comprendre comment s'articulent inné et acquis dans le comportement, en dépassant toutes les querelles stériles qui, trop souvent encore, paralysent la réflexion sur les capacités individuelles d'apprentissage, autour des problèmes de don, d'élite, d'égalitarisme, etc. L'affirmation essentielle est que « la possibilité d'apprendre est, elle-même, rigidement limitée par une enveloppe génétique » (Changeux et Danchin, 1974, p. 63). Qu'est-ce que cela signifie ? Changeux précise que cette enveloppe génétique « limite chez l'homme tant la vitesse que la capacité à apprendre » (1977, p. 335). Mais il faut comprendre chez l'homme en tant que membre de l'espèce humaine. Cette affirmation concerne, non pas un individu particulier, mais tous les hommes : « La connectivité maximale ainsi que les étapes du développement du réseau, de même que le pouvoir évolutif et intégrateur de chaque soma neuronique, sont déterminés de façon rigoureuse par le programme génétique : cela constitue l'enveloppe génétique du réseau » (Danchin, 1977, p. 351). Ainsi, d'une part, « l'autorité des gènes » assure-t-elle

« l'unité du cerveau humain au sein de l'espèce » (Changeux, 1983, p. 271). Changeux insiste sur ce point capital : « Les différences individuelles s'effacent devant la constance des traits majeurs de l'organisation cérébrale » (id.). La part de l'inné dans le comportement d'apprendre est considérable : mais elle concerne tous les hommes, qui ont, structurellement, le même cerveau. Sauf cas évidemment pathologique, l'élève Pierre n'a pas, biologiquement, plus ou moins que Paul. Mais cependant, et d'autre part, l'enveloppe génétique inclut la variabilité individuelle, puisque la notion en a été introduite pour « délimiter les caractères invariants soumis au strict déterminisme des gènes et ceux qui font l'objet d'une importante variabilité phénotypique ». Car, avec l'homme, « l'enveloppe génétique s'ouvre à la variabilité individuelle » (id. p. 284). Mais la « fluctuation » qui est le support de la variabilité individuelle est précisément « limitée » par l'enveloppe génétique (Changeux, 1979, p. 283) : la redondance est transitoire et ne concerne que certaines classes d'extrémités nerveuses. Il devient clair que la variabilité concerne, non la nature de la capacité d'apprendre, mais la réalité des apprentissages particuliers. Si des différences apparaissent effectivement lorsque les sujets apprennent, elles ne concernent pas cette capacité elle-même (identique chez tous les sujets humains, puisque fonction de l'enveloppe génétique spécifique), mais traduisent la réalité différentielle des apprentissages particuliers. Autrement dit, chacun n'est pas juste aussi intelligent qu'il l'est naturellement (position essentialiste désormais absurde), ni même qu'il le veut, selon la belle formule d'Alain (position volontariste qui déjà traduit mieux la réalité), mais qu'il apprend, autrement dit qu'il exerce son « esprit ». La qualité de l'apprentissage ne dépend pas de la « nature » du sujet, mais de la nature des apprentissages qu'il effectue concrètement, c'est-à-dire de l'importance et de la variété des exercices, de ce qu'il fait, et donc, médiatement, de ce qu'on lui fait faire. Telle est la part de l'acquis.

Contrairement à ce que fait Hans J. Eysenck dans l'ouvrage qu'il a consacré à l'inégalité de l'homme (1977), il ne faut pas se laisser abuser par la notion de limite biologique. La limitation ne se traduit pas par l'existence d'obstacles biologiques individuels. L'enfant qui apprend est limité en ce sens qu'il ne pourra pas apprendre autre chose que ce dont le cerveau humain rend possible l'acquisition. La notion de limite concerne donc une double réalité. Tout d'abord, nous l'avons vu, il existe « des limites évidentes » dans la possibilité — spécifique — d'apprendre (Changeux et Danchin, p. 63). « Ces limites sont produites par l'organisation et les propriétés fonctionnelles caractéristiques de l'espèce (id. p. 74) ; elles concernent ce qui peut être appris, la vitesse d'acquisition, la durée du stockage ; ce sont les limites génétiques du comportement. Mais, et c'est précisément pourquoi il a fallu

introduire la notion d'enveloppe, la capacité d'apprendre marque une limitation (d'où la métaphore de la faille) du déterminisme génétique : « il y a une limite au-delà de laquelle le déterminisme génétique semble ne plus exister » (id. p. 63). Ainsi, le pouvoir d'apprendre qui marque la limite de la détermination génétique (il apparaît « au-delà »), est cependant doublement limité : formellement, par les « capacités » du cerveau ; dans son déroulement temporel, par le fait que, tout apprentissage concret impliquant une restriction de la redondance, « l'acte d'apprendre apparaît dans une certaine mesure comme une « restriction » des potentialités offertes par le programme génétique » (id. p. 80).

Mais alors, la seule stratégie pédagogique cohérente consiste à aider les élèves à stabiliser le plus grand nombre possible de « chemins » (Danchin, 1977, p. 351) dans la masse grosse au moins de trente milliards de neurones du cortex cérébral humain ; les aider à construire le maximum de graphes, à devenir capables de « convoquer », de la façon la plus pertinente, le plus grand nombre possible d'« assemblées de neurones ». Ainsi, la théorie que propose Changeux des « objets mentaux » va-t-elle nous permettre de progresser vers une réponse claire à notre

deuxième question : comment aider quelqu'un à apprendre ? — Réponse que nous venons d'esquisser.

### 3. Les objets mentaux et leur construction

La théorie des objets mentaux à laquelle se risque Changeux est très certainement, à la fois pour le psychologue et pour le philosophe, l'aspect le plus stimulant de l'homme neuronal. Nous tenterons d'en donner une représentation par la figure 1 (tentative de représentation schématique du « domaine » des objets mentaux). Tout comportement, tout acte, toute sensation « s'explique par » la mobilisation des neurones composant un réseau particulier, un graphe, selon l'image commode de la toile d'araignée : « L'encéphale de l'homme se présente à nous comme un gigantesque assemblage de dizaines de milliards de « toiles d'araignée » neuronales enchevêtrées les unes aux autres et dans lesquelles « crépitent » et se propagent des myriades d'impulsions électriques... » (Changeux, 1983, p. 171). Chaque objet mental correspond à une toile d'araignée, une « assemblée de neurones » particulière. Mais les représentations mentales pourront exister sous trois formes : percept, image de mémoire, et concept. Car si, d'une façon générale, « l'objet

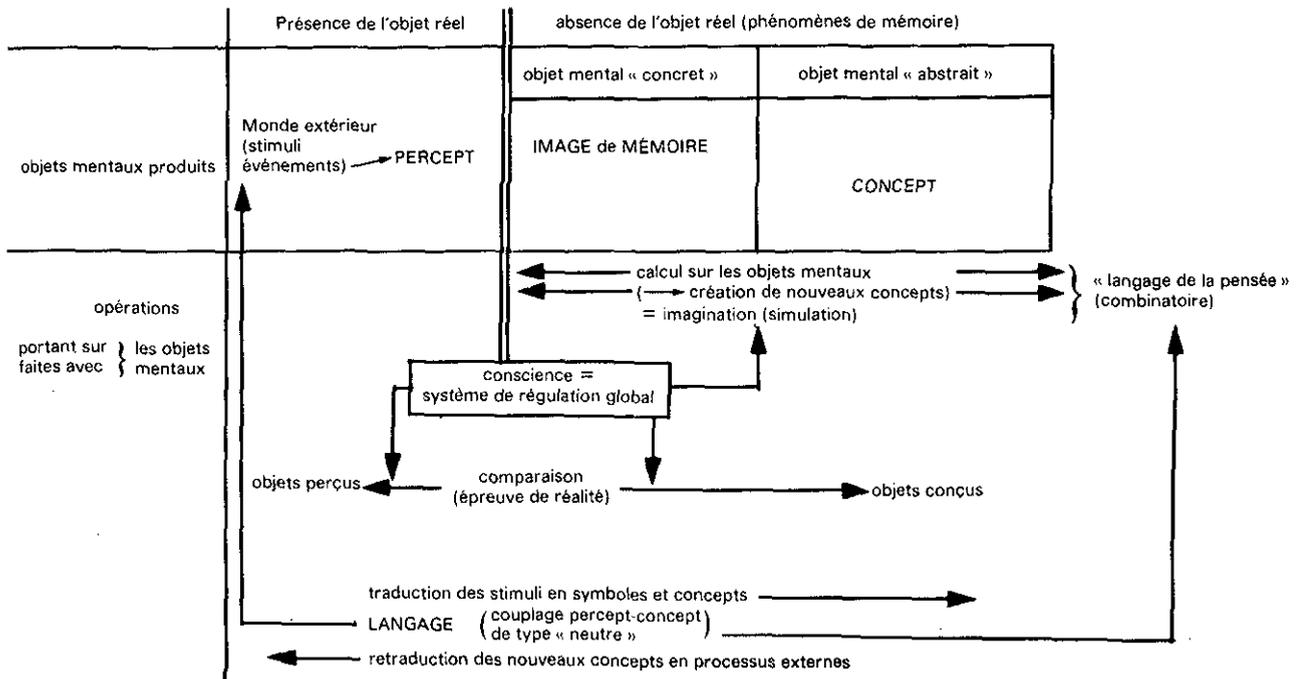


figure 1 : tentative de représentation schématique du « domaine » des objets mentaux.

**mental** est identifié à l'état physique créé par l'entrée en activité..., **corrélée** et **transitoire**, d'une large population ou « assemblée » de neurones » (id. p. 186), il est possible de distinguer, selon la « prégnance » du monde extérieur, trois catégories d'assemblées. Le **percept** résulte d'une telle entrée en activité, à la suite d'une stimulation provenant du monde extérieur, c'est-à-dire en présence de l'objet, d'aires multiples du cortex, à la fois primaires et secondaires, « en interactions réciproques ». Il est une « entité » « à caractère « global » et « unitaire » » (id. p. 185). L'**image mentale**, ou image de mémoire, requiert la stabilisation sélective du couplage entre les neurones qui composent l'assemblée du percept, stabilisation qui produit une consolidation rendant l'assemblée indépendante du monde extérieur, mais s'accompagne aussi d'une simplification et d'un élagage (perte d'un important contingent de neurones du percept primitif) (id. p. 186). Le **concept** est un objet de mémoire qui ne possède plus, au mieux, qu'une faible composante sensorielle, et qui recrute des neurones dispersés dans des aires multiples. Il y a, à la fois, **élagage de la composante sensorielle** — le concept « apparaît comme une image simplifiée, « squelettique », réduite aux traits essentiels, formalisée » (id. p. 179) — et enrichissement dû aux combinaisons par lesquelles s'exprime déjà le « langage de la pensée ». Car les objets mentaux sont l'objet d'opérations ou calculs. Ils s'enchaînent. De nouvelles combinaisons « germent ». Tel est le travail du « langage de la pensée », qui, en combinant, imagine et simule, et qui sera traduit avec plus ou moins de bonheur par le « langage des mots ». Mais le langage de la pensée ne mérite son nom que lorsque naît véritablement le sens, qui provient de l'organisation et de la régulation grâce à quoi les objets mentaux produits « spontanément » vont s'enchaîner selon un ordre logique, en étant coordonnés. On peut définir la conscience comme étant justement le « système de régulation global qui porte sur les objets mentaux et sur leurs calculs » (id. p. 196) ; « **système de surveillance** » ou « système de régulations en fonctionnement » (p. 227). Certes, cette régulation, bien qu'« imposée par la volonté consciente » (p. 203), repose sur des mécanismes hors du pouvoir de notre volonté, puisque c'est la machine cérébrale qui, du fait de son câblage, « impose sa « grammaire » à l'enchaînement des objets mentaux » (p. 188). Mais on voit quelle est la part de la volonté, qui trace la frontière entre le délire et la pensée. C'est la volonté d'être attentif, qui se traduit dans et par l'exercice de la fonction de comparateur de l'encéphale. L'attention « gère l'économie des relations du cerveau avec l'environnement » (p. 207). Les discours délirants sont désorganisés et décousus. La pensée introduit ordre et cohérence. Mais cela implique une constante confrontation avec le monde extérieur, cette **vigilante comparaison entre objets perçus et objets conçus** (p. 206) en quoi consiste « l'épreuve de réalité »

(p. 188), qui donne aux calculs cérébraux leur sens (p. 195). Penser, finalement, c'est confronter des assemblées de neurones en regard de la réalité. Et apprendre n'est pas autre chose qu'exercer cette capacité de régulation qui définit la conscience.

Car cette capacité s'exerce. La conscience est à la fois l'origine et le produit d'un effort d'attention. L'expérience permet de modeler la machine cérébrale en construisant des graphes. Elle produit ces traces que le langage de la pensée va utiliser, sur lesquelles il repose. **Apprendre**, c'est stabiliser des réseaux de neurones ; **penser**, c'est être capable de combiner attentivement les assemblées de neurones stabilisées. Apprendre à penser, c'est apprendre à être attentif, à la fois aux « objets » (apprendre) et aux « idées » (penser). On voit que, pour aider quelqu'un à apprendre, il convient d'abord d'exiger qu'il soit attentif. Est-ce bien la direction suivie, par l'École, ces quinze dernières années ?

## II. — PEUT-ON, ET COMMENT, AIDER QUELQU'UN A APPRENDRE ?

Nous sommes désormais en possession d'un certain nombre d'éléments nous permettant de répondre à cette deuxième question. Nous allons préciser cette réponse, tout d'abord, en explicitant ce que signifie progresser, à travers une rapide réflexion sur le temps d'apprendre.

### 1. Le temps d'apprendre

L'action pédagogique n'a de sens que si l'élève est susceptible de progresser. Or les analyses de J.-P. Changeux nous permettent de conclure à la fois que tout élève est capable de progrès, et qu'il est possible, tout au long de son développement, d'aider chaque élève à progresser. Car, tout d'abord, le temps d'apprendre n'est pas limité aux toutes premières années du développement. Certes, ces premières années sont décisives. Mais le modèle de l'apprentissage par stabilisation sélective permet de comprendre comment la capacité d'apprendre est encore présente même chez l'adulte. Tout progrès — construction de modèles de comportement par « câblage » de voies nerveuses, qui enrichissent la gamme comportementale du sujet — est en même temps régression, puisque apprendre équivaut à éliminer. Toutefois, il n'y a nullement régression linéaire, de la naissance à la mort, mais **structuration par vagues successives**, avec, à chaque fois, reprise du même processus de choix (de certains trajets nerveux) : élimination (d'autres trajets possibles). Non seulement la période de prolifération synaptique se poursuit « longtemps après la naissance » (p. 320), mais encore les synapses ne s'établissent pas en une seule fois. « Au contraire, celles-ci prolifèrent par vagues successives depuis

la naissance jusqu'à la puberté » (p. 329), chaque vague incluant redondance transitoire et stabilisation sélective. Le développement se présente donc comme un « enchaînement de périodes critiques » où l'activité pourra et devra exercer son effet régulateur. L'élève, ainsi, n'est jamais figé dans sa figure passagère. Chaque vague rend possible la construction de nouveaux programmes. Et comme cette construction s'opère par exercice, on voit comment le temps d'apprendre est le temps de l'éducation. Aider quelqu'un à apprendre, c'est suivre attentivement son développement pour pouvoir lui proposer, au moment opportun, les situations qui lui permettront de s'exercer le plus méthodiquement possible, sans gâcher les moments privilégiés du temps d'apprendre où, d'une certaine façon, tout redevient possible. C'est pourquoi, comme l'a très bien fait sentir Olivier Reboul (1980), la méthode proposée par le maître, et comprise et recherchée par l'élève, n'est pas contrainte répressive, mais libération. La refuser à l'élève au nom de l'autonomie de celui-ci, comme certains pédagogues ont cru devoir le faire par souci de favoriser la spontanéité et la créativité, est un « véritable déni de justice » (Reboul, 1980, p. 57), puisque l'autonomie n'est que la marque de ceux qui ont su tirer le meilleur parti des potentialités offertes par la machine neuronale en construisant le plus grand nombre possible de modèles de comportement efficace, autrement dit, en devenant véritablement capables de penser.

Car, en second lieu, au cours du développement, les calculs sur les objets mentaux deviennent progressivement prépondérants. Sans doute l'adulte est-il encore capable d'apprendre dans la mesure où son cerveau possède toujours une certaine plasticité. La modification de synapses existantes peut suffire, chez lui, à l'apprentissage (Changeux, 1977, p. 345). Son cerveau « montre encore un mouvement limité mais caractéristique dans l'organisation synaptique » (Changeux et Danchin, 1974, p. 75). Axones et dendrites conservent « de remarquables capacités de régénération » (Changeux, 1983, p. 373). Mais on pourrait dire que le plus important est le fait que l'apprentissage débouche sur la pensée. L'être en développement progresse en acquérant la maîtrise des opérations sur les objets mentaux ; en devenant capable de « calculer » correctement (combinaison des objets mentaux), de comparer objets conçus et objets perçus (épreuve de réalité), de traduire les stimuli en symboles et de retraduire les concepts en processus externes. En un mot, en devenant capable de penser, autrement dit de faire « jouer » le système de régulation global en quoi consiste la conscience, et qui sera le moteur d'un comportement autonome parce que maîtrisé. Ainsi, l'important est d'être capable de produire de nouveaux objets mentaux par le travail du « langage de la pensée », d'allumer de nouvelles toiles d'araignée, en confrontant toujours les concepts produits à la réalité extérieure. De ce point de vue, l'École

a pour fonction essentielle d'être le lieu privilégié de l'apprentissage méthodique de la pensée.

## 2. Vers une pédagogie de l'exercice

Tout montre l'importance décisive de l'exercice. C'est l'activité qui « construit » les structures à partir d'une organisation anatomique préexistante. La stabilité d'un trajet multineuronale dépend de l'état d'activité de ses éléments (1974, p. 71). C'est toujours par l'activité que s'opère la régulation épigénétique (1983, p. 309). C'est l'activité qui donne forme au réseau et, ainsi, sauvegarde les capacités fonctionnelles. Mais qu'est-ce que l'activité ?

Il s'agit, tout d'abord, de l'activité nerveuse, primitivement spontanée, puis provoquée par les contacts avec l'environnement, qui assure la mise en place et la survie des synapses. De ce point de vue, la stimulation est déjà essentielle, puisque « le fonctionnement des récepteurs sensoriels et des neurones qui y sont associés » est « indispensable au maintien et à la permanence de structures programmées dès l'œuf » (1977, p. 339). La qualité de cet « entretien fonctionnel » (id. p. 342) est fonction de la nature et de l'importance des signaux échangés, qui dépendent à la fois de la richesse de l'environnement et du degré d'activité du sujet. Car, bien que l'environnement n'ait pas d'effet directement « instructif » sur le cerveau, il peut être jugé plus ou moins riche en regard des stimulations qu'il provoque, des « problèmes » qu'il soulève, des possibilités de manipulation qu'il offre. La première tâche de l'École, de la maternelle à l'Université, est bien de constituer, en ce sens, un environnement stimulant, point de départ et lieu d'ancrage pour l'activité de l'élève.

Mais l'activité ne se réduit pas à l'échange de signaux, à l'exploration d'un milieu, à la manipulation d'objets (tout ce qui correspond à ce que nous avons appelé, au sens strict, apprentissage). Il s'agit aussi de cette « combinaison d'activités nerveuses » par laquelle « les objets mentaux peuvent... participer à l'épigénèse du cerveau, les percepts s'associer aux concepts » (1983, p. 329). « L'exercice mental » proprement dit, qui correspond à ce que nous avons appelé la pensée, et qui « contribue à la « mise au point » de la connectivité du cortex cérébral » (id.). Il ne faut donc pas avoir peur de l'abstraction, et refuser le travail formel, travail sur les symboles et les concepts.

Dire des exercices scolaires qu'ils sont souvent trop abstraits est, de ce point de vue, une absurdité supplémentaire. Un exercice n'est jamais trop abstrait. L'important est d'apprendre à maîtriser les « calculs » portant sur les objets mentaux, en sachant que la « vérité » de ces calculs ne pourra apparaître que lors de « l'épreuve de réalité » finale qui comparera concepts et percepts. Mais, pour qui n'aura pas appris à calculer, à imaginer, à créer

de nouveaux concepts, le problème de la vérité ne se posera même pas : il n'aura rien à « comparer » !

En définitive, aucune structure n'existe en dehors de l'activité qui la crée et la maintient. L'intelligence, comme structure intellectuelle, n'est rien d'autre que le **résultat de l'exercice fonctionnel sur quoi repose la conscience**. Un élève n'est devenu « intelligent » que lorsqu'il a acquis la maîtrise des « opérations » de calcul et de comparaison. Car « l'état fonctionnel, l'activité d'un instant, laisse... une trace dans la structure, devient lui-même structure » (1983, p. 372). Ce « principe de corrélation structure-fonction » (1977, p. 340)(3) permet donc enfin de comprendre qu'aider un élève à apprendre revient à lui donner l'occasion de cultiver sa mémoire, puisque la mémoire n'est que le produit de l'apprentissage, et non une qualité a priori qui le rendrait possible.

### 3. Mémoriser

Les incertitudes sont encore nombreuses en ce qui concerne les mécanismes neurobiologiques de la mémoire. Faut-il distinguer, comme le propose Changeux lui-même, mémoire à court et à long terme ? (1974, p. 90). Faut-il concevoir avec Adams(4), en ce qui concerne les praxies, deux systèmes de mémoire, l'un assurant le rappel des programmes moteurs, l'autre permettant la comparaison des informations sensorielles apportées par le mouvement avec le modèle construit au cours de l'apprentissage ? Quel est le rôle exact du sommeil dans la fixation des traces nerveuses(5) ? Mais l'**homme neuronal** confirme, d'une façon éclatante, un point essentiel pour les pédagogues : on ne retient rien si l'on ne fait rien. La « mise en mémoire » n'est que le résultat de la stabilisation du « couplage » entre neurones ayant constitué une assemblée (p. 186). Mémoriser équivaut à « créer » une structure (pp. 302-372), qui rendra possible la « convocation » ultérieure de l'assemblée, reposant sur l'existence du graphe. Tout est fonction de l'activité première, qui « crée » et nourrit la mémoire, autrement dit rend possible le travail de la pensée, puisque les « objets de mémoire » sont susceptibles d'en évoquer, d'en « faire germer » d'autres par un processus de « croissance coopérative » (pp. 187, 190, 191). Comme le suggère bien l'image de la sculpture, la mémoire n'est que le produit du travail intellectuel. C'est sans doute la raison pour laquelle il apparaît raisonnable à Changeux « d'envisager que la « trace » des objets de mémoire se trouve **distribuée** sur

**l'ensemble du cortex** » (p. 224). Propriété de l'ensemble du cortex, la mémoire s'enrichit donc chaque fois que l'on apprend, ou que l'on pense, c'est-à-dire que l'on fait un effort d'attention pour suivre — réguler, coordonner — le « langage de la pensée » ou pour « comparer » les produits de ce langage avec la réalité extérieure. Ces considérations nous ramènent à la nécessité de faire fonctionner le système de régulation qu'est la conscience. La seule façon d'aider quelqu'un à développer ses « capacités » de mémoire est de lui donner, le plus souvent possible, l'occasion d'exercer son attention.

Finalement l'**homme neuronal** est construit autour de l'idée que « tout comportement s'explique par la mobilisation interne d'un ensemble topologiquement défini de cellules nerveuses » (p. 363). Une telle théorie du comportement pourra susciter, chez les psychologues ou les philosophes, de nombreuses réserves, et être jugée, d'une certaine façon, réductrice. Mais elle présente pour les pédagogues un mérite essentiel, celui, précisément, de mettre l'accent sur le comportement. Si, comme nous espérons l'avoir fait sentir, les travaux de Changeux apportent des données particulièrement fécondes pour le traitement des problèmes pédagogiques, c'est parce qu'elles nous font retrouver l'essentiel. Comme l'avait bien perçu Rogers, l'enseignement est une activité qui n'a de sens que dans la mesure où elle facilite l'apprentissage de l'élève : la « **facilitation de l'apprentissage** » est « le but par excellence de l'enseignement » (Rogers, 1972, p. 102). Mais si l'on veut aller au-delà de l'affirmation, dont la simple répétition mécanique engendre la stérilité, qu'il est nécessaire de centrer la pédagogie sur « l'apprenant », il faut bien prendre le risque de donner un contenu précis au verbe apprendre. Et ce contenu ne peut être apporté que par des disciplines centrées sur l'étude du comportement humain et de son développement. Cela nous permet d'entrevoir, en conclusion, comment la réflexion pédagogique non seulement peut, mais encore doit se nourrir de l'apport de disciplines qui ne sont pas considérées, classiquement, comme des sciences de l'éducation, mais qui constituent cependant, en tant que point de départ obligé d'une anthropologie animée par un questionnement philosophique, des sciences indispensables pour l'éducateur, et, à ce titre, susceptibles de faire progresser la réflexion pédagogique bien plus que ne le feront les sciences dites de l'éducation(6).

Charles HADJI

Centre académique de formation  
des PEGC de Grenoble

## Notes

(1) Sur les mécanismes synaptiques, cf. Jacques Taxi, Comment fonctionne le système nerveux ?, in : **La recherche en neurobiologie**, éd. du Seuil, 1977, pp. 5-52.

(2) André Béjin, Conclusion générale, in : **L'unité de l'homme. 2 - Le cerveau humain**, p. 215.

(3) Sur ce principe, cf. aussi : Pierre Karli, Les conduites agressives, in : **La recherche en neurobiologie**, p. 245.

(4) Mentionné par Hubert Ripoll, Problèmes posés par l'adaptabilité du geste sportif aux perturbations imposées par le milieu, **Éléments de Neurobiologie des comportements moteurs**, p. 124.

(5) Sur ce problème, cf. : Danchin, 1977, p. 353 ; A. Béjin, **Le cerveau humain**, p. 100 ; **Éléments de Neurobiologie des comportements moteurs**, p. 240.

(6) Sur ce thème, cf. : Charles Hadji, **Pédagogie et Libération**, Thèse de Doctorat d'État soutenue devant l'Université de Grenoble II, sept. 1982.

## Références bibliographiques

ATLAN (Henri) (1974). — Le principe d'ordre à partir du bruit, l'apprentissage non dirigé et le rêve, in : **L'unité de l'homme 2 - Le cerveau humain**, pp. 207-213.

AZEMAR (Guy) et RIPOLL (Hubert) (1982). — **Éléments de Neurobiologie des comportements moteurs**, Paris, INSEP, 326 p.

CHANGEUX (Jean-Pierre) (1977). — L'inné et l'acquis dans la structure du cerveau, in : **La recherche en neurobiologie**, éd. du Seuil, pp. 325-346.

CHANGEUX (Jean-Pierre) (1979). — Déterminisme génétique et épigénèse des réseaux des neurones... », in : **Théories du langage, théories de l'apprentissage**, pp. 276-289.

CHANGEUX (Jean-Pierre) (1983). — **L'homme neuronal**, Fayard, Paris, 419 p.

CHANGEUX (J.-P.) et DANCHIN (A.) (1974). — Apprendre par stabilisation sélective de synapses en cours de développement, in : **L'unité de l'homme 2 - Le cerveau humain**, pp. 58-88.

DANCHIN (Antoine) (1977). — L'inné et l'acquis : une théorie sélective de l'apprentissage, in : **La recherche en neurobiologie**, pp. 347-359.

EYSENCK (Hans J.) (1977). — **L'inégalité de l'homme**, Copernic, Paris, 285 p.

GUILLAUME (Paul) (1968) (nouvelle édition). — **La formation des habitudes**, PUF, Paris, 212 p.

LE NY (Jean-François) (1972) (nouvelle édition). — **Le conditionnement et l'apprentissage**, PUF, Paris, 196 p.

MEHLER (Jacques) (1974). — Connaître par désapprentissage, in : **2 - Le cerveau humain**, pp. 25-37.

MORIN (E.), PIATTELLI-PALMARINI (M.) (1974). — **L'unité de l'homme 2 - Le cerveau humain**, éd. du Seuil, Paris, 223 p.

PIATTELLI-PALMARINI (Massimo) (1979). — **Théorie du langage, Théories de l'apprentissage** : le débat entre Jean Piaget et Noam Chomsky, éd. du Seuil, Paris, 533 p.

REBOUL (Olivier) (1980). — **Qu'est-ce qu'apprendre ?** PUF, Paris, 206 p.

ROGERS (Carl R.) (1972). — **Liberté pour apprendre**, Dunod, Paris, 364 p.