

Héréditarisme, béhaviorisme, constructivisme

Le système nerveux dans les manuels scolaires français et tunisiens

Pierre Clément, didactique et épistémologie de la biologie et de l'environnement, LIRDHIST, université Claude-Bernard–Lyon I, Villeurbanne ; coordinateur du projet de recherche européen *Biohead-Citizen* ; Pierre.Clement@univ-lyon1.fr

Lassaad Mouelhi, LIRDHIST, université Claude-Bernard–Lyon I, Villeurbanne ; ISEFC, Tunis ; mouelhilassaad@yahoo.fr

Mondher Abrougui, faculté des sciences de Bizerte, Tunisie ; responsable de l'équipe tunisienne du projet *Biohead-Citizen* ; abrouguimondher@yahoo.fr

Nos connaissances scientifiques (K) sur le cerveau humain et ses fonctions se renouvellent très rapidement. Leur enseignement également, en fonction de l'évolution de pratiques sociales (P) liées à la recherche, à la santé, à des comportements sociaux, mais aussi en interaction avec des valeurs (V). Nous avons tenté d'identifier ces interactions par une analyse critique des derniers programmes et manuels scolaires de l'enseignement secondaire des sciences de la vie et de la Terre en France et en Tunisie.

Nos résultats montrent que, si les nouveaux programmes français ont introduit, avec les notions d'épigenèse et de plasticité cérébrales, les bases biologiques du constructivisme, des valeurs plus traditionnelles sont encore présentes. Les manuels tunisiens actuels se limitent à des thèses béhavioristes, qui sont également présentes en France (5^e, 3^e, 1^{re} S). L'héréditarisme (qui réduit les émergences cérébrales à des déterminismes génétiques) est présent en Tunisie, mais aussi, de façon plus implicite, dans les manuels français de 1^{re} S.

Alors que tous les processus biologiques sont régulés, et plus particulièrement dans le système nerveux, aucun des schémas retraçant des trajets neuronaux ne représente la moindre rétroaction, à de rares exceptions près (régulations neuro-hormonales).

Les enjeux citoyens de ces constats sont discutés.

I. Cerveau et pensée

Le cerveau est un organe du corps humain. Il y est en relation avec tous les autres organes, et il est le support de notre pensée, de ce qui a longtemps été appelé « notre esprit ». De telles affirmations n'ont plus la vigueur sulfureuse, révolutionnaire, qu'elles ont pu avoir au milieu du XVIII^e siècle, quand La Mettrie écrivait « *L'homme – machine* » en affirmant que « *le cerveau a ses muscles pour penser, comme les jambes pour marcher* ». Cabanis, peu après 1802, introduisait la métaphore digestive (« *le cerveau est un organe particulier destiné à produire la pensée, de même que l'estomac et l'intestin contribuent à opérer la digestion* ») dont le succès ne s'est pas démenti jusqu'à aujourd'hui. Bien d'autres métaphores (optiques avec la réflexion, électriques, informatiques : Clément, 1993) ont été utilisées depuis pour tenter de décrire, voire de modéliser, notre cerveau et son fonctionnement dans une perspective matérialiste qui fait aujourd'hui consensus dans le milieu de la recherche. Même un philosophe chrétien comme Ricœur admet que « *le cerveau est le substrat de la pensée* » et que « *la pensée est l'indicateur d'une structure neuronale sous-jacente* » (Changeux & Ricœur, 1998, p. 61).

Ce matérialisme quasi consensuel¹ de la communauté scientifique contraste fortement avec un regain de spiritualisme dans nombre de pays et avec la prégnance d'une pensée dualiste mise en évidence par nos recherches sur les conceptions d'enseignants et d'étudiants relatives au cerveau humain et à ses fonctions (en France : Clément, 1984, 1994a ; en Europe : Clément, 1999a ; au Sénégal : Ndiaye & Clément, 1998 ; au Liban : Abou Tayeh, 2003 ; en Algérie : Clément & Savy, 2001). Cette pensée dualiste est d'ailleurs ancrée dans notre langage, imprégnée de toute notre histoire s'enracinant dans la culture grecque mais aussi dans une pensée judéo-chrétienne qui oppose le corps et l'esprit, l'un étant mortel et l'autre non. Cette dualité est parfois relayée aujourd'hui par une opposition entre le corps et le cerveau, ce dernier contrôlant le premier. Ce dualisme s'accompagne le plus souvent d'une méconnaissance des processus d'épigenèse cérébrale : ils concernent la construction des réseaux neuronaux qui sont le support de nos apprentissages, de notre mémoire et de nos pensées.

Nos neurones, individuellement stupides (c'est-à-dire uniquement capables de performances élémentaires), se structurent en réseaux agencés entre eux et finalement capables de performances aussi étonnantes que notre pensée, notre intelligence, nos émotions... Même si ce domaine de recherche est actuellement en plein développement (modèles d'IAD², ordinateurs neuromimétiques...), les chercheurs sont encore loin de comprendre la complexité des processus qui sous-tendent l'émergence de la pensée. Une certaine modestie s'impose dans ce domaine quand il est enseigné, en séparant ce qui est connu de ce qui est hypothèse

1 Certains neurobiologistes, comme Eccles, défendent encore aujourd'hui une conception dualiste du cerveau et de la pensée.

2 Pour une introduction à ces modèles de la complexité, d'IAD (intelligence artificielle distribuée), voir Clément, 1994b.

et recherche en cours et en n'ayant pas honte d'indiquer les limites actuelles de nos connaissances.

Nous assistons depuis quelques dizaines d'années à un renouveau considérable des connaissances en neurobiologie, sinon des paradigmes de recherche : plasticité et épigénèse du système nerveux, réseaux neuronaux et apprentissage (Changeux, 1983, 2002 ; Changeux & Ricœur, 1998 ; Fottorino, 1998 ; Buisseret, 1999 ; Edelman, 2000) ; neuroanatomie fonctionnelle et imagerie cérébrale (Mazoyer, 2002 ; Houdé, 2002) ; la fin du tout génétique (Stewart, 1993 ; Atlan, 1999 ; Kupiec & Sonigo, 2000) ; les sciences cognitives, le connexionnisme, les concepts d'émergence, d'énaction et d'*umwelt* (Varela, 1989 ; Stengers, 1997 ; Stewart, Scheps & Clément, 1997 ; Clément, 1999b).

Comment les programmes et manuels scolaires de *sciences de la vie et de la Terre* (SVT) s'adaptent-ils à ces profonds renouvellements ? Telle est notre question de recherche. Le présent travail tente d'y répondre pour la France et la Tunisie³, en développant une analyse critique des programmes et manuels scolaires de SVT les plus récents. Les fondements de cette analyse sont présentés dans le paragraphe qui suit.

2. Un objectif : identifier les interactions entre K (connaissances scientifiques), V (valeurs) et P (pratiques sociales)

L'enseignement de la neurobiologie est particulièrement délicat.

C'est cependant un domaine par rapport auquel les attentes des élèves sont fortes, en particulier quant aux fonctions cérébrales comme la mémoire, la pensée, l'intelligence, l'émotion, mais aussi quant aux pathologies cérébrales et aux différences innées ou acquises⁴ entre les performances cérébrales de différentes personnes (Clément, 1986).

C'est un domaine scientifique où les connaissances et modélisations se renouvellent rapidement. Les enseignants doivent se recycler en permanence. En particulier, face au développement des techniques modernes d'imagerie cérébrale qu'ils maîtrisaient mal, nombre d'enseignants français préféreraient, il y a une dizaine d'années, ne pas traiter ce chapitre en classe de 3^e (Clément, 1996, 1997).

C'est un ensemble de connaissances dont l'enseignement est confié aux professeurs de SVT, mais qui recouvre bien d'autres domaines. Par exemple la santé : les élèves du secondaire ont souvent des questions sur les pathologies cérébrales, par rapport auxquelles les enseignants de SVT se sentent le plus souvent mal ou

³ Les raisons du choix de ces deux pays sont exposées plus bas (« 3. Le corpus étudié »).

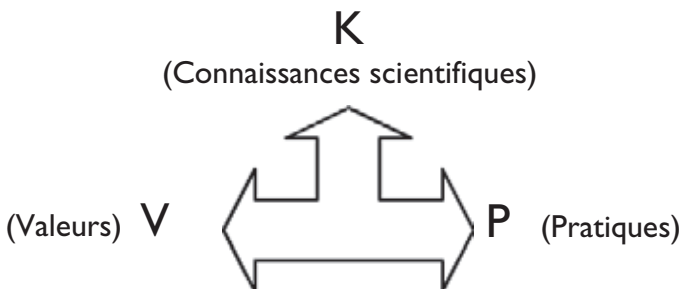
⁴ Même si cette distinction entre inné et acquis est dépassée pour les biologistes (Stewart, 1993 ; Jacquard & Kahn, 2001 ; Forissier & Clément, 2003), c'est encore souvent en ces termes que s'expriment les attentes des élèves.

non armés. Mais aussi la psychologie : dans certains pays, comme au Portugal, le cerveau est intégré dans un enseignement de psychologie et non pas de biologie. La linguistique (psycho-linguistique, neuro-linguistique), les sciences cognitives et la didactique des disciplines (approche constructiviste) sont autant d'autres secteurs disciplinaires qui s'intéressent au cerveau et à ses performances. Au sein même de la biologie, le cerveau d'un anatomiste n'est pas celui d'un électro-physiologiste, ni d'un cytologiste ou encore d'un neurochimiste, sans même parler de l'imagerie cérébrale classique ou fonctionnelle. À chacune de ces pratiques correspondent des connaissances scientifiques spécifiques, qui se recoupent ou non selon les cas. De plus, le choix des connaissances à enseigner sur le cerveau dépend aussi d'autres pratiques sociales, touchant des grands problèmes de société : alcoolisme, usage de drogues, abus de tranquillisants...

Enfin, comme nous l'avons signalé ci-dessus à propos du dualisme/matérialisme, les connaissances sur le cerveau et ses fonctions sont souvent en forte interaction avec des valeurs, telles que les croyances religieuses. Nous y reviendrons à propos des conceptions héréditaristes, béhavioristes ou constructivistes qui seront identifiées dans les programmes et manuels scolaires français et tunisiens, présentes sans doute à l'insu même des auteurs de ces programmes et manuels.

Au total, nous analyserons les contenus des manuels scolaires et programmes en tant que des conceptions qui expriment les interactions entre trois pôles : des connaissances scientifiques (K), des systèmes de valeurs (V) au sens le plus général du terme (opinions, croyances, idéologies) et des pratiques (P) qu'il s'agisse de pratiques sociales, professionnelles (santé, prévention, recherche) ou citoyennes. Repérer dans les conceptions des acteurs de la transposition didactique les interactions entre ces trois pôles K, V et P (figure 1), jusqu'ici limités aux savoirs (pôle K) par Chevallard (1985, 1989) puis étendus aux pratiques sociales (pôle P) par Martinand (1986, 2001), a été proposé par Clément (1998, 2004).

Figure 1. Les conceptions seront analysées en tant qu'interactions entre les trois pôles K, V et P



Les systèmes de valeurs sont explicites ou implicites dans l'éducation à l'environnement (Clément & Hovart, 2000). Ils sont le plus souvent implicites dans les enseignements de biologie, où les connaissances peuvent interférer avec des enjeux éthiques ou idéologiques (par exemple pour la génétique humaine : Rumelhard, 1986 ; Abrougui & Clément, 1997).

Un objectif de notre recherche est d'identifier les éventuels systèmes de valeurs implicites qui structureraient les choix faits par les programmes et manuels scolaires français et tunisiens lorsqu'ils abordent le système nerveux, et plus particulièrement le cerveau humain.

Plusieurs auteurs considèrent que l'enseignement des sciences, d'une façon générale, véhicule un curriculum caché ou implicite qui double comme une ombre le curriculum visible ou explicite (Mathy, 1997). Ils estiment que les programmes ou les manuels scolaires diffusent à leur insu une nébuleuse d'idéologies implicites, des valeurs qui influencent les élèves.

3. Le corpus étudié

Il est difficile d'analyser les programmes et manuels tunisiens de biologie sans les comparer aux programmes et manuels français. Notre hypothèse est que les programmes tunisiens sont peut-être influencés par les programmes français, mais en marquant des singularités liées à plusieurs paramètres, dont le contexte socio-culturel. En plus de différences économiques et politiques importantes entre la France et la Tunisie, notons que cette dernière n'est indépendante que depuis un demi-siècle. L'islam y est religion d'État, pratiquée par 98 % de la population. L'arabe est la langue officielle. L'enseignement tunisien est arabophone au niveau du collège (fin de l'enseignement de base) puis francophone au niveau des quatre années correspondant au lycée. En Tunisie, les programmes et manuels (dont il n'existe qu'une édition, publiée par le ministère) sont rédigés puis expertisés par des groupes d'inspecteurs, en tenant compte des demandes d'allègements ou de modifications exprimées par des enseignants. En France, les programmes étaient, jusqu'en 2005, préparés par des groupes de travail réunissant des experts de diverses origines (inspecteurs, enseignants, universitaires) ; les manuels mettent ensuite en œuvre les programmes, dans un contexte concurrentiel entre plusieurs éditeurs.

Notre question principale de recherche, exprimée dans les paragraphes précédents, pourrait donc *a priori* se doubler de questions complémentaires :

- comparaison entre les programmes et manuels scolaires tunisiens et français ;
- comparaison entre plusieurs éditions en France, pour le même niveau scolaire.

Cependant, ces questions complémentaires ne constituent pas l'essentiel des travaux présentés ici, pour plusieurs raisons. Une comparaison solide des programmes (et manuels) français et tunisiens devrait inclure les contenus des dernières réformes depuis une quinzaine d'années. Celles-ci sont régulières en France, environ tous les 5 ans, avec plusieurs années pour leur mise en œuvre en fonction des niveaux scolaires (voir la colonne de droite du tableau 1). Elles sont plus irrégulières en Tunisie, où les programmes actuels ont été rédigés en 1990 puis allégés/modifiés en 1993 et en 1998 (voir la colonne « début d'application » dans le tableau 1). Une nouvelle version des programmes est en cours d'achèvement de rédaction en Tunisie, pour une application progressive en 2006-2009. Elle n'était pas encore disponible lorsque nous avons effectué la recherche présentée ici : sa comparaison avec les programmes récents français serait très informative pour répondre à notre première question complémentaire. Cette analyse comparative diachronique des programmes français et tunisiens sera l'objet d'un travail ultérieur, qui n'est qu'amorcé. Par ailleurs, une comparaison entre les divers éditeurs français nécessite une approche comparative aussi exhaustive que possible, qui ne peut pas être présentée ici, faute de place et parce qu'elle n'est pas totalement achevée. Dans le présent travail, nous nous limitons à quelques éditeurs (tableau 2), principalement Nathan et Bordas, qui sont parmi les plus traditionnellement utilisés par les enseignants⁵.

L'analyse des programmes de l'enseignement secondaire tunisien et français permet de repérer les niveaux scolaires où le système nerveux est enseigné, et les thèmes dans lesquels s'insèrent ces enseignements. L'ensemble de ces informations est synthétisé dans le tableau 1.

Tableau 1. Les grands thèmes abordant le système nerveux dans les programmes des collèges et lycées en Tunisie et en France

| | Tunisie | | | | France | | | |
|---------|----------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---|-----------------------|---------------------|
| | Référence | Début d'application | Thème | Classe et âges des élèves | | Thème | Référence | Début d'application |
| Collège | | | | | 5 ^e (12-13 ans) | le mouvement et sa commande | BO du 13 février 1997 | 1998/1999 |
| | Décret n° 1205 | 1997/1998 | La fonction de relation | 9 ^e de base (14-15 ans) | 3 ^e (14-15 ans) | relation à l'environnement et activité nerveuse | BO, 22 juillet 1999 | 1999/2000 |
| | | | | | 2 ^{de} (15-16 ans) | l'organisme et son fonctionnement | BO du 12 août 1999 | 2000/2001 |

⁵ Les manuels Belin sont actuellement autant utilisés, et d'autres manuels sont eux aussi intéressants à analyser. Ces comparaisons seront l'objet d'un travail ultérieur. Le tableau 2 montre que nous avons utilisé un manuel Didier, un Hatier et un Hachette quand l'édition Bordas ou Nathan correspondante n'était pas disponible.

| | | | | | | | | |
|-------|-----------------------------------|-----------|---|---|--------------------------------|---|--------------------|-----------|
| Lycée | Décret n° 98-1280 | 1998/1999 | La communication nerveuse | 3 ^e lettres (17-18 ans) | 1 ^{re} L (16-17 ans) | – La représentation visuelle du monde – Rôle de l'axe hypothalamo-hypophysaire dans la régulation de la fonction reproductrice | BO du 31 août 2000 | 2000/2001 |
| | | | | 3 ^e économie et gestion (et aussi 3 ^e Maths et 3 ^e Techniques) (17-18 ans) | 1 ^{re} ES (16-17 ans) | – La communication nerveuse – Rôle de l'axe hypothalamo-hypophysaire dans la régulation de la fonction reproductrice | BO du 31 août 2000 | 2000/2001 |
| | | | | | 1 ^{re} S (16-17 ans) | La part du génotype et la part de l'expérience individuelle dans le fonctionnement du système nerveux. | BO du 31 août 2000 | 2001/2002 |
| | Décret n° 98-1280 du 15 juin 1998 | 1998/1999 | (1) la communication nerveuse (2) la régulation de la fonction reproductrice (3) la régulation de l'activité cardiaque – la régulation nerveuse de la glycémie | 4 ^e sciences expérimentales (18-19 ans) | terminale S (17-18 ans) | Rôle de l'axe hypothalamo-hypophysaire dans la régulation de la fonction reproductrice et du comportement sexuel | BO du 30 août 2001 | 2002/2003 |

Le tableau I permet quelques premiers commentaires.

L'enseignement du système nerveux ne commence en Tunisie qu'en fin du collège (9^e année de base, c'est-à-dire l'équivalent de la 3^e en France). En France, cet enseignement débute plus tôt, en 5^e, avec l'étude de la commande nerveuse du mouvement.

En Tunisie, le programme actuel⁶ de sciences naturelles pour la classe de 3^e année secondaire (équivalent à la classe de 1^{re} en France) est le même pour des filières différentes (Maths, Lettres, Economie et Gestion, Techniques). Ce n'est pas le cas en France où les programmes actuels des classes équivalentes (1^{re} S, 1^{re} ES et 1^{re} L) ont des spécificités en rapport avec les orientations de chaque section. En 1^{re} ES, le thème abordant le système nerveux porte le même titre qu'en Tunisie « *la communication nerveuse* », mais il est centré sur le fonctionnement des centres nerveux à travers un exemple, comme la douleur, qui permet d'aborder les interactions entre système nerveux et substances chimiques, conduisant aux notions de médicament et de drogue (forte influence des pratiques sociales sur ce programme). En Tunisie, « *la communication nerveuse* » n'aborde que les supports anatomiques, le message nerveux et l'activité réflexe. En 1^{re} L (France), le thème relatif à la neurobiologie s'intitule « *la représentation visuelle du monde* ». Selon les concepteurs du programme, ce thème constitue :

6 À partir de l'année scolaire 2006-2007, en Tunisie, chaque filière de la 3^e année secondaire où les SVT sont enseignées, aura un nouveau programme avec une orientation spécifique pour chaque filière.

– « une sensibilisation au caractère subjectif des perceptions visuelles » (document d'accompagnement, p. 29) ;

– « une base concrète intéressante pour une approche ultérieure de la différence individuelle de perception du monde en cours de philosophie en classe de terminale L » (programme officiel, p. 148) [...], « par exemple la distinction entre "monde réel" et "monde perçu" » (programme officiel, p. 146).

Les programmes de 1^{re} L et de 1^{re} ES sont donc marqués par des dimensions socioculturelles, s'articulant avec les orientations spécifiques des élèves et abordant des thèmes qui touchent à la responsabilité individuelle et collective face à des problèmes actuels de société.

En ce qui concerne la 1^{re} S, la présentation générale du programme de SVT (BO, HS n° 7 du 31 août 2000) en précise l'objectif : « Une quatrième partie a pour objectif de dégager l'importance de l'expression du génotype et de la plasticité dans la formation du cerveau et dans l'individuation qui en dépend. Elle s'appuie sur la mobilisation des acquis des classes antérieures et approfondit les bases anatomiques et fonctionnelles de la communication nerveuse à travers l'étude du réflexe myotatique. La connaissance des phénomènes à l'échelle cellulaire, et des mécanismes explicatifs des processus intégrateurs, permet ensuite de traiter de la part du génotype dans le fonctionnement du système nerveux, et de la neuroplasticité ». Ce paragraphe montre bien que l'épigenèse et la plasticité cérébrale sont enfin intégrées au programme du lycée dans le cadre d'un thème fédérateur de la 1^{re} S commandé par le conseil national des programmes (CNP), « l'articulation génotype/phénotype ou relations génotype-phénotype-environnement », pour réconcilier le réductionnisme moléculaire et la vision intégrée des systèmes vivants. Le titre du thème abordant le système nerveux en 1^{re} S (« La part du génotype et la part de l'expérience individuelle dans le fonctionnement du système nerveux ») mérite cependant un premier commentaire. Il suggère en effet un modèle additif, qui n'a pas de sens quand il s'agit d'une interaction entre le génome et son environnement (Stewart, 1993 ; Forissier & Clément, 2003). De nombreux scientifiques l'ont souligné à plusieurs reprises : « Pour que la notion de part ait un sens, il est nécessaire que le résultat de la somme des parties puisse s'analyser en termes qui s'ajoutent. Il faut que "le modèle explicatif" soit additif. S'il ne l'est pas, le recours à cette notion ne peut qu'être fautif. [...] Tel est évidemment le cas lorsque les causes évoquées sont d'une part, le patrimoine génétique, d'autre part les apports du milieu » (Jacquard, 1972). Lorsqu'il y a interaction, les deux parties sont chacune à 100 % nécessaires, l'inné comme l'acquis. Stewart (1993), Jacquard et Kahn (2001) et bien d'autres l'ont à maintes reprises souligné. Nous y reviendrons avec l'analyse des manuels scolaires.

Dernière remarque sur les titres reproduits dans le tableau I à partir des programmes français et tunisiens : le terme « régulation » est associé aux fonctions de reproduction, qui sont traitées en terminale S dans les deux pays, ainsi qu'en

1^{re} L et 1^{re} ES en France. De plus, la terminale S tunisienne aborde la régulation de la glycémie et celle de l'activité cardiaque.

Comme les manuels scolaires sont élaborés selon les instructions des programmes officiels et qu'ils reprennent scrupuleusement les contenus de ces programmes, nous éviterons les redondances en présentant nos résultats uniquement sur l'analyse des contenus des manuels scolaires étudiés (3 tunisiens et 16 français). Les titres de ces contenus sont listés dans le tableau 2.

Tableau 2. Présentation des manuels scolaires tunisiens et français étudiés
(La correspondance entre les niveaux scolaires en Tunisie et en France est respectée)

| France | | | | | Tunisie | |
|-------------------|------------------|---|------------------------|---|---|-------------------------|
| Niveau | Édition et année | Thème | Édition et année | Thème | Niveau, Édition et année | Thème |
| 5 ^e | Bordas, 1997 | Le mouvement et sa commande | Nathan , 1997 | – Le mouvement et sa commande – Appareil locomoteur, système nerveux et santé | | |
| 3 ^e | Bordas, 1999 | Relation à l'environnement et activité nerveuse | Nathan , 1999 | Relation à l'environnement et activité nerveuse | 9^e, CNP, 2004 | La fonction de relation |
| 2 ^{de} | Bordas, 2000 | Intégration des fonctions dans l'organisme | Nathan , 2000 | Intégration des fonctions circulatoire et respiratoire dans l'organisme au cours de l'activité physique | | |
| 1 ^{re} S | Bordas, 2001 | Le fonctionnement du système nerveux | Nathan , 2001 | Génotype Expérience individuelle et fonctionnement du système nerveux | | |
| | Didier, 2001 | La part du génotype et la part de l'expérience individuelle dans le fonctionnement du système nerveux | Hatier , 2001 | Génotype, phénotype et système nerveux | | |
| 1 ^{re} L | Bordas, 2001 | Représentation visuelle du monde | Hachette , 2001 | La représentation visuelle du monde | 3^e Maths. Lettres. Technique. Economie et Gestion | Communication nerveuse |
| | | Procréation | | Procréation | | |
| 1 ^e ES | Bordas, 2001 | Communication nerveuse | Hachette , 2001 | Communication nerveuse | CNP, 2004 | |
| | | Procréation | | Procréation | | |
| Term. S | Bordas, 2002 | Procréation : régulation de la fonction de reproduction | Nathan , 2002 | Procréation : régulation de la fonction de reproduction | 4^e Term. Sc. Exp. CNP, 2004. | Communication nerveuse |

Nous n'avons pas la place, dans les lignes qui suivent, de présenter l'ensemble des résultats obtenus à partir de l'analyse de ces 19 manuels. Nous avons donc sélectionné quelques exemples de résultats, parmi ceux qui nous semblent être les plus significatifs.

4. Le triomphe du béhaviorisme en tunisie, plus nuancé en france

4.1. Le manuel tunisien de terminale sciences expérimentales.

Son analyse est significative du niveau maximal de complexité présenté aujourd'hui aux élèves tunisiens sur le fonctionnement du système nerveux. Sur 99 pages consacrées au système nerveux, les thèmes suivants sont abordés :

– 77,5 pages pour la communication nerveuse dont : 52 pages d'anatomie, cytologie et supports du message nerveux ; 15 pages à « l'activité réflexe innée » ; 11 pages aux « conditionnements et apprentissages » dans lesquelles moins de deux pages envisagent les fonctions supérieures du cerveau, sous le titre significatif « importance physiologique des réflexes conditionnels » ;

– 20 pages pour la régulation nerveuse : 9 pages consacrées à la régulation de l'activité cardiaque et de la pression artérielle, ½ page consacrée à la régulation de la glycémie, puis 10,5 pages consacrées à la régulation de la reproduction (rôle du complexe hypothalamo-hypophysaire).

Si on pousse l'analyse en excluant les parties sur les neurones et le message nerveux, ainsi que sur le système neuro-végétatif, la prédominance des images béhavioristes est écrasante. Mis à part les 3 schémas anatomiques introductifs (sur le système nerveux de l'homme : pages 156 à 159), tous les schémas illustrent des réflexes soit innés, soit conditionnels, dans leurs aspects anatomiques, physiologiques, comportementaux (Pavlov et Skinner) et dans le circuit des neurones pour décrire ces « arcs réflexes ». Aucune image n'illustre un comportement plus complexe que le réflexe pavlovien.

L'analyse de termes-pivots (méthode de Harris (1953) reprise par Jacobi (1987)) a été effectuée pour les pages 238 à 248 (consacrées aux fonctions principales du système nerveux central sous le titre rappelé ci-dessus : « conditionnements et apprentissages »), soit environ 5 pleines pages de texte (si l'on décompte les images) d'environ 500 mots chacune. Nous avons décompté :

– 54 occurrences du terme « réflexe » et de ses reformulations : dont 5 « réflexe inné », 1 « réponse innée », 1 « réaction invariable », 18 « réflexe conditionnel », 7 « réponse conditionnelle », « réaction conditionnelle », 3 « réflexe répondant », 2 « réflexe opérant », 3 « réflexe salivaire » ;

– 20 occurrences du terme « conditionnement » : dont 7 pavloviens (3 « conditionnement classique », 4 « conditionnement répondant ») et 8 skinneriens (« conditionnement opérant ») ;

– 25 occurrences du terme « apprentissage » ou de ses reformulations : dont 4 « dressage » et 4 « habituation ». Il est à noter que les auteurs du manuel emploient souvent comme synonymes les termes « réflexe », « conditionnement » et « apprentissage » pour éviter des répétitions.

L'ensemble est explicitement béhavioriste :

stimulus → **boîte noire** → **réponse**

Dans la grande majorité des exemples (pour les illustrations comme pour les titres), la boîte noire est la moelle épinière, et ce n'est pas toujours tout à fait une boîte noire puisque quelques motoneurons, voire des interneurons, peuvent y être dessinés.

Dans les deux dernières pages, le langage, l'écriture et les croyances sont réduits à des conditionnements, avec parfois un dualisme implicite : le corps induit des comportements naturels (marcher, parler), tandis que l'esprit permet d'acquérir des symboles et des performances (lire, conduire...) qui deviennent ensuite des automatismes relevant du corps.

4.2. Un manuel français de 1^{re} S

C'est en 1^{re} S qu'est présent, en France, un contenu scientifique comparable à celui du manuel tunisien de terminales sciences expérimentales. Le schéma béhavioriste « stimulus → boîte noire → réponse » y est un acquis, car il est largement présent dans les niveaux scolaires précédents (5^e et 3^e), mettant en relation un organe sensoriel et une réponse motrice, *via* le système nerveux central (dans son ensemble, incluant la moelle épinière). En 1^{re} S, le contenu du manuel édité par Nathan est regroupé en une partie intitulée « *génotype, expérience individuelle et fonctionnement du système nerveux* » (p. 182 à 241) divisée en 3 chapitres :

- chapitre 10 (pages 187 à 200) : « *Réflexe myotatique et circuit neuronique* » ;
- chapitre 11 (pages 201 à 228) : « *Les messages nerveux* » ;
- chapitre 12 (pages 229 à 241) : « *Activité des centres nerveux. Influence du génotype et plasticité* ».

Tous les schémas du chapitre 10 sont de type béhavioriste « Stimulus → Boîte noire → Réponse » et sont plus précisément relatifs au réflexe myotatique :

stimulus (étirement du muscle) → **moelle épinière** → **contraction du même muscle**

Ce schéma se complexifie ensuite avec deux réponses motrices : contraction du muscle, et relâchement du muscle antagoniste.

Au total, sur 26 illustrations de ce chapitre de 14 pages, 10 présentent une coupe transversale de moelle épinière, le plus souvent avec les trajets des neurones impliqués dans ce réflexe : ce schéma devient donc une référence.

Dans le chapitre 11, ce même schéma est repris 3 fois (pages 210, 211 et 218) pour introduire d'autres informations sur les messages nerveux. C'est, dans ce chapitre 11, le seul type de trajet nerveux auquel il est fait référence (le seul jusqu'ici acquis par les élèves).

La fonction du chapitre 12 est d'introduire d'autres niveaux de complexité (les centres nerveux supérieurs, au-delà de la moelle épinière, et la notion de plasticité, que nous analyserons plus bas). Dans ce chapitre, les schémas de trajets nerveux sont plus rares. Ils sont tous du type :

récepteur sensoriel → cerveau

Avec cependant l'exception du schéma de la page 241, sur l'aplysie, qui est à nouveau le schéma d'un réflexe : « récepteur (siphon) → ganglion nerveux (abdominal) → effecteur (branchie) ». Nous ne souhaitons pas critiquer le recours à cet exemple, essentiel ici pour introduire la notion d'habituation liée à la variation du nombre de synapses. Nous voulons simplement souligner que, dans l'ensemble des trois chapitres de ce manuel, qui constituent le niveau le plus élevé d'étude des supports nerveux des comportements, du cerveau et de ses fonctions, les élèves de 1^{re} S n'auront vu que des trajets nerveux linéaires non bouclés et essentiellement de type behavioriste (stimulus → système nerveux central → réponse).

Le message behavioriste est moins appuyé, moins explicite qu'en Tunisie, mais il n'en est pas moins présent, sans doute à l'insu même des auteurs du manuel, qui ont des intentions pédagogiques compréhensibles (faire passer un message simple, faire ensuite référence à ce message puisqu'il est connu des élèves, etc.).

5. Héritarisme (déterminisme génétique) et constructivisme (épigénèse et plasticité cérébrales)

5.1. En Tunisie

L'analyse est vite réalisée. Dans les manuels scolaires tunisiens de SVT, les seules allusions à l'épigénèse cérébrale et à la plasticité du cerveau sont implicites, à travers les termes de réflexes conditionnés et de conditionnement opérant.

L'inné tient en revanche une place importante, déjà signalée ci-dessus à propos du manuel de terminale sciences expérimentales. Ainsi on trouve une référence à l'inné dans toutes les parties sur les réflexes innés, à commencer par le réflexe myotatique, mais aussi avec un long tableau qui liste une série d'autres réflexes innés chez l'homme. Une idéologie héréditariste implicite sous-tend donc les choix du programme et du manuel officiel en Tunisie. Cette idéologie héréditariste fait d'ailleurs bon ménage avec le behaviorisme, dont nous avons souligné plus haut la présence explicite et massive dans ce chapitre.

5.2. En France, en 1^{re} S : un renouveau mais un héréditarisme persistant

Le programme de 1^{re} S se rapproche le plus du contenu enseigné en Tunisie. Nous l'avons vu en ce qui concerne la fréquence des schémas « stimulus →

réponse » et l'importance accordée au réflexe myotatique qui est inné, héréditarisme et béhaviorisme faisant bon ménage. Ensuite la partie intitulée « *Activités des centres nerveux. Influence du génotype et plasticité* » (chapitre 12 du Nathan 1^{re} S, p. 229 à 241) est plus nuancée.

Nous constatons d'abord une heureuse rupture par rapport aux programmes et manuels antérieurs, ce qui le différencie aussi du manuel tunisien : les thèmes de l'épigenèse et de la plasticité cérébrales sont bien présents en 1^{re} S.

Dès la page de garde de ce chapitre (page 223, occupée à plus des 2/3 par le titre et par une image), ces thèmes représentent environ la moitié du texte, annonçant le contenu de ces notions : « *Si chacun est capable de ressentir les effets d'une stimulation sensorielle, l'interprétation qu'il en fait lui est propre⁷. Les réseaux neuronaux se développent en effet, en fonction des caractéristiques de l'environnement propre à chaque individu* ». Juste au-dessous, dans l'encadré « *Les problèmes à résoudre* », le troisième et dernier problème est le suivant : « *Le fonctionnement du système nerveux est-il défini une fois pour toute, ou au contraire peut-il se modifier en fonction de l'environnement et du passé de chaque individu ?* ».

Pages 228 et 229, le TP3 intitulé « *Le remodelage des connexions synaptiques dans le système nerveux central* », présente l'exemple des vibrisses de rongeurs (1,6 pages) ainsi que, plus rapidement (0,4 page), celui d'un singe entraîné à utiliser plus fréquemment certains doigts.

Page 230 : le résumé des 3 TP se termine par une phrase de généralisation : « *Le cortex somato-sensoriel présente une plasticité qui a pu être constatée dans l'ensemble des structures nerveuses* ».

Page 233 : une petite demie page est titrée : « *Construire son cerveau avec son expérience : l'épigenèse* ». Elle prend l'exemple de la vision des chats, et reproduit une citation de Buisseret⁸.

Dans la synthèse (p. 234-236), une demi-page est consacrée à la « *plasticité du système nerveux central* ». Reprenant longuement l'exemple des vibrisses de rongeurs, elle se termine juste par une courte phrase de généralisation : « *Ce remodelage des connexions synaptiques, témoin de la plasticité cérébrale, est une propriété générale du système nerveux central. Il a été mis en évidence chez de très nombreux animaux* ».

La page suivante (p. 237), intitulée « *Essentiel* » donne une place importante à la plasticité, environ la moitié du texte et des images (l'autre moitié est consacrée

7 Cette distinction entre la sensation (stimulation sensorielle) et son interprétation est en fait plus complexe qu'il n'y paraît. Nous y reviendrons ci-dessous sur l'exemple de la vision.

8 P. Buisseret a été l'un des 3 commissaires scientifiques de l'exposition du MNHN « Pas si bêtes ! Mille cerveaux, mille mondes » (1999 et 2000). Les deux autres commissaires scientifiques étaient S. Hergueta et P. Clément. Cette exposition avait décidé de mettre au centre de son message les notions de réseaux neuronaux, d'épigenèse et de plasticité cérébrales, ainsi que la notion d'*umwelt* (à chacun son monde : Clément, 1999b). C'est un extrait de cette exposition qui est cité par le manuel scolaire.

au déterminisme génétique, que nous allons commenter ci-dessous) : définition de la « *neuroplasticité* » dans les mots-clés (limités à deux mots), deux des trois points des « *idées à retenir* » et la moitié du schéma bilan.

Enfin, dans les exercices qui terminent ce chapitre (p. 238-241), la page 239 développe « *La plasticité du système visuel de mammifères nouveaux-nés* » tandis que la page 241 reprend un exercice donné au bac à partir de documents sur l'habituation chez l'aplysie.

Au total, nous ne pouvons que nous réjouir de voir enfin la notion de plasticité cérébrale introduite en 1^{re} S, et le terme « épigénèse » être cité, même si ce n'est qu'une fois. Cependant, une gêne subsiste lors de l'analyse de ce manuel, surtout si on le compare aux manuels de 1^{re} L (voir plus bas). Cette gêne porte sur les deux points suivants.

Alors que tous les apprentissages humains (aussi bien moteurs qu'intellectuels : parler, lire, compter, chanter, jouer des instruments...) ne sont possibles que par les processus d'épigénèse cérébrale, au cours desquels se configurent puis se stabilisent plus ou moins nos réseaux neuronaux, les exemples pris dans ce manuel ne concernent que des animaux : les rongeurs, avec l'exemple longuement traité des vibrisses, et des exemples plus courts sur le singe et le chat. Aucun ne concerne l'homme, alors que les informations scientifiques sur l'homme ne manquent pas. Comment dès lors espérer que les élèves de 1^{re} S comprennent l'importance de ces processus d'épigénèse et plasticité cérébrales ? Sinon, peut-être, en extrapolant le cas des vibrisses de rongeurs ou des privations visuelles précoces chez le chat ou le singe, à des accidents possibles chez l'homme (un doigt coupé, la perte d'un œil). Mais, ne sont-ce pas là des cas certes importants mais exceptionnels par rapport à l'ampleur que devrait prendre cette notion d'épigénèse pour comprendre nos apprentissages et la construction progressive de notre identité ?

Le second point concerne la volonté des auteurs du manuel de maintenir un équilibre entre le déterminisme génétique et les processus épigénétiques (nommés neuroplasticité). C'est ainsi qu'ils interprètent le programme (tableau 1 : « *La part du génotype et la part de l'expérience individuelle dans le fonctionnement du système nerveux* »). Nous avons commenté plus haut l'expression « *la part de* » qui renvoie à un modèle additif n'ayant aucun sens ici. Les auteurs du manuel conservent pourtant cette expression et la déclinent en additionnant des informations juxtaposées d'une façon qui se révèle, à l'analyse, moins neutre qu'ils ne l'espéraient. C'est ce que nous allons commenter à présent.

La « *part du génotype* » occupe, dans le chapitre 12 du manuel Nathan 1^{re} S, le même nombre de pages que la plasticité (décrite dans les lignes précédentes).

Le TPI (p. 224 et 225) s'intitule « *Génotype et système nerveux* ».

La page 224 concerne « *Le système nerveux des jumeaux monozygotes* ». C'est un thème qui intéresse tous les élèves (contrairement aux vibrisses des rongeurs) avec une dimension émotive forte. D'après le bilan des TP (p. 230), on comprend que l'objectif de la comparaison d'images IRM prises chez les deux jumeaux a pour premier objectif de montrer leur similitude résultant du fait qu'ils ont le même génotype. C'est l'exemple type de la pseudo-démonstration, puisque cette similitude des structures cérébrales internes s'observerait tout aussi bien chez des humains sans parenté⁹. Le second objectif de cette activité est de montrer que, même chez des jumeaux monozygotes, il existe de petites différences entre leurs cerveaux, en particulier dans le cas présenté où l'un des deux jumeaux est schizophrène. Il s'agit d'illustrer les limites du déterminisme génétique. Le recours à des vrais jumeaux est justifié mais l'activité proposée est plus complexe que celle imaginée par les auteurs du manuel. En effet, comment prouver, à partir des deux seules images reproduites dans le manuel, que les petites différences observées ne résultent pas de petites différences dans le niveau ou l'orientation des deux tomographies¹⁰ ? À cet égard, les images 3D reproduites par Changeux (2002¹¹), montrant que la taille du *planum temporale* n'est pas la même chez des jumeaux monozygotes quand l'un est gaucher et l'autre droitier, sont plus explicites. Cet exemple serait plus parlant pour les élèves qui savent peu de choses sur la schizophrénie (sans parler des débats non clos entre scientifiques sur les diverses origines possibles de cette pathologie).

La page 225 aborde un autre thème : « *Mutations et développement du cervelet chez la Souris* ». Les images comparent la structure du cervelet chez la souris « normale » et chez deux mutants « *weaver* » et « *reeler* ». L'objectif (p. 230) est de montrer que « *l'organisation et le fonctionnement des circuits neuronaux sont altérés par certaines mutations* ». Le paradoxe est que ce sont des travaux sur les mêmes types de mutants cérébelleux de souris qui ont permis à Danchin et Changeux de formuler la théorie de l'épigenèse par stabilisation sélective des synapses, théorie largement popularisée depuis (Changeux 1983), mais dont le manuel scolaire ne dit pas un mot. Ici l'exemple illustre seulement le déterminisme génétique de l'organisation neuronale dans le cervelet.

La page 232 (dans la partie « *Documents pour mieux comprendre* ») présente en détail « *des formes d'insensibilité congénitale à la douleur* ». C'est là encore un exemple humain qui frappe l'imagination avec une forte dimension émotive. Ce

9 Nous ne voulons pas dire que le génotype ne serait pas en relation avec l'organisation interne du cerveau humain, mais que c'est, de façon plus globale, le génotype humain qui est lié à ces plans d'organisation, sans avoir besoin de l'identité totale des génotypes telle qu'elle existe chez les jumeaux monozygotes.

10 Une tomographie cérébrale est l'image virtuelle d'une tranche fine d'un cerveau vivant. Les spécialistes travaillent sur des coupes virtuelles sériées, l'image observée variant d'une coupe (tomographie) à l'autre. Comparer deux individus à partir d'une seule tomographie par individu présuppose le choix de niveaux et plans de coupes rigoureusement équivalents, ce qui est loin d'être simple. Les spécialistes ont aussi une approche statistique pour comparer deux individus. Ces précautions ne sont pas précisées dans le manuel.

11 La page 288 de cet ouvrage de Changeux reproduit les résultats publiés par Steinmetz et al. (1995, *Cereb. Cortex*, 5, p. 296-300.)

déterminisme génétique strict est développé sur une page entière, en vis-à-vis de deux autres exemples, dont celui traitant de la plasticité cérébrale (l'épigénèse dans les voies visuelles des chatons, présentée plus haut) qui n'occupe qu'une demi-page. La balance entre épigénèse et déterminisme génétique penche ici en faveur de ce dernier par le volume et la charge émotive.

La synthèse du chapitre est le dernier passage de ce manuel que nous souhaitons discuter ici. La partie intitulée « *I. La part du génotype...* » est scientifiquement correcte dans sa conclusion (« *le phénotype est déterminé par les interactions du génotype avec les facteurs environnementaux, y compris dans ce cas l'expérience vécue* »). Mais elle commence par une phrase plus contestable : « *La construction du système nerveux, et donc des réseaux de neurones qui caractérisent son fonctionnement, est déterminée par le génotype* ». Ce texte résume ensuite les exemples présentés précédemment pour conclure de façon très affirmative : « *Toutes ces données sont autant d'arguments en faveur d'une influence fondamentale du génotype dans le fonctionnement du système nerveux*¹² ». Ce qui suit immédiatement est : « *Ces résultats doivent cependant être discutés* », phrase qui introduit un paragraphe court sur l'influence possible de l'environnement et son interaction avec le génotype.

En résumé, notre analyse de ce manuel de 1^{re} S met en évidence une dissymétrie dans la présentation du déterminisme génétique d'une part, et de l'épigénèse/plasticité de l'autre. Le premier est affirmé, démontré, illustré par des exemples humains qui concernent tous les élèves. Le second est juste discuté, introduit pour nuancer le premier et illustré par des exemples sur les animaux qui sont plus étrangers aux préoccupations des élèves. Cette dissymétrie révèle une idéologie implicite héréditariste, sans doute à l'insu même des auteurs du manuel qui semblent avoir cherché à exposer une position synthétique équilibrée donnant la même surface aux déterminismes génétiques et épigénétiques.

L'époque du « tout génétique » dominant dans les programmes et dans les manuels scolaires (Abrougui, 1997 ; Atlan, 1999 ; Forissier & Clément, 2003) a donc laissé quelques traces dans ce manuel, malgré le changement de paradigme et de programme qui introduit l'épigénèse et la plasticité cérébrales.

Nous n'avons pas la place de présenter une analyse aussi précise d'autres éditions de manuels de 1^{re} S. Nous nous limitons à quelques remarques relatives à deux d'entre elles.

Dans le manuel édité par Bordas (2001), nous retrouvons les mêmes tendances que celles notées dans le manuel étudié ci-dessus (Nathan), avec un héréditarisme persistant dont témoignent les citations suivantes (c'est nous qui soulignons) :

¹² L'ambiguïté sémantique concerne la signification à donner au terme « fonctionnement ». Le sens que les auteurs semblent donner au terme (les propriétés élémentaires des neurones, la mise en place de l'architecture du cerveau au cours de l'embryogenèse) n'est pas le sens que va lui donner tout élève ou autre lecteur. Pour eux, il s'agira du fonctionnement chez l'enfant et l'adulte et de performances telles que l'intelligence (dont le manuel ne dit pas un seul mot, induisant par là même la possibilité d'un dérapage interprétatif).

– « Quelle est **la part** du génome dans la mise en place d'un tel câblage ? » (p. 226) ;

– « L'étude de souris présentant des troubles moteurs a permis de montrer **un contrôle génétique** de la construction des réseaux » (p. 226) ;

– « Cette chaîne (de neurones) étant toujours organisée de la même façon, nous devons admettre qu'elle est mise en place au cours du développement embryonnaire **sous le contrôle génétique**. » (p. 231).

Cependant, le manuel Hatier (2001) se distingue des deux précédents en évoquant plus explicitement les interactions entre génotype, environnement et phénotype au cours du développement et ensuite lors de la vie embryonnaire puis jusqu'à l'âge adulte :

– « ... ; au sein d'une même espèce, on constate une variabilité individuelle : même les cerveaux de vrais jumeaux sont différents. Le cerveau et le système nerveux, en général, comportent une part d'individualisation qui n'est pas dictée par le génome mais par l'influence de l'environnement sur l'expression de ce génome. » (p. 183). Notons la présence de l'exemple fort (par sa charge émotive) de cerveaux différents chez des jumeaux homozygotes. Mais la phrase suivante fait encore référence à un modèle additif, avec « une part » dictée par le génome et une autre par l'environnement ;

– « ... une période critique pendant laquelle la mise en place de l'architecture du cortex, génétiquement déterminée, est influencée par les conditions de l'environnement. » (p. 183). Cette citation est plus explicite quant aux interactions entre génome et environnement, mais elle les limite à la construction anatomique du cerveau, durant une période critique précise, ne permettant donc pas aux élèves de concevoir ces interactions au niveau de leurs réseaux neuronaux, à l'occasion de leurs apprentissages durant toute leur vie.

5.3. En France, en 1^{re} L : les bases du constructivisme

En 1^{re} L, le système nerveux est abordé, comme le stipule le programme, par « la représentation visuelle du monde ». Nous ne prendrons ici, faute de place, qu'un exemple, le manuel de 1^{re} L édité par Bordas (2001). Il comporte deux chapitres :

– le chapitre 1 : « L'œil : de la lumière aux messages nerveux » (p. 7 à 30). Nous ne l'analyserons pas, signalant juste que, dès le début du chapitre (p. 8), il est clairement indiqué que « on voit avec son cerveau », ce qui est l'objet du chapitre 2 ;

– le chapitre 2 : « La vision, une construction cérébrale » (p. 31 à 50). L'intitulé même de ce chapitre est constructiviste, et son contenu aussi. Le chapeau qui suit le titre (p. 31) indique que « l'objectif de ce chapitre est de comprendre comment chacun peut élaborer sa propre représentation du monde ».

Il n'est pas besoin d'un grand nombre de pages pour présenter un contenu scientifique conforme aux connaissances actuelles sur la construction du cerveau

et de ses réseaux neuronaux, et qui échappe aux contradictions signalées ci-dessus dans les manuels de 1^{re} S.

Cet objectif est atteint par cinq paires de pages correspondant chacune à une activité pratique :

– « *De la rétine au cerveau* » (nous y reviendrons dans la partie 6 du présent travail) ;

– « *Voir : une fonction cérébrale* » localisant en imagerie cérébrale plusieurs aires visuelles corticales ;

– « *L'élaboration d'une perception visuelle intégrée* » localisant les aires corticales spécialisées dans le traitement respectif des couleurs, des formes et du mouvement ;

– « *L'intervention de substances chimiques* » introduisant l'action du LSD et d'autres drogues ;

– « *À chacun sa propre vision du monde* » : c'est la partie qui concerne la plasticité cérébrale. Elle est divisée en deux : A : « *Des perceptions différentes* » et B : « *La plasticité du cerveau* ».

La partie B présente trois exemples :

– deux images de microscopie optique montrant un grand nombre de synapses sur des fibres chez une souris, 48 heures après sa naissance, et un petit nombre de synapses au même endroit si la souris du même âge a été privée de lumière dès sa naissance ;

– l'exemple de la plasticité des connexions neuronales dans les voies visuelles de chatons, soit élevés normalement, soit avec un œil suturé.

– une citation, d'un article de la revue *La Recherche*, expliquant qu'une zone corticale précise n'est activée que lorsqu'une personne regarde des mots écrits. Ainsi elle n'a pu se développer que lorsque l'enfant a appris à lire. Nous trouvons donc ici un exemple qui associe clairement la plasticité cérébrale à un apprentissage intellectuel (savoir lire), exemple plus parlant pour les élèves que celui des vibrisses d'un rongeur.

Enfin la synthèse de ce chapitre (p. 44-46) se termine par la partie intitulée : « *Le développement des facultés visuelles* », elle-même divisée en 3 paragraphes :

– « *I. Le rôle des gènes* ». Il n'est pas éludé, mais clairement expliqué pour ne pas être en contradiction avec le paragraphe suivant sur la plasticité. Il est d'abord expliqué que « *de nombreux gènes concourent à la réalisation de la fonction visuelle* ». Ils sont tous nécessaires et l'exemple du daltonisme montre le rôle précis de l'un d'eux. Ce paragraphe se termine par cette conclusion qui annonce la suite : « *ainsi,*

hormis certaines anomalies, tous les êtres humains possèdent à la naissance les mêmes **potentialités** visuelles. Cependant, ce système visuel est encore très **immature** »¹³ ;

– « 2. Une étonnante plasticité du cerveau ». Tout en résumant les pages précédentes, ce paragraphe apporte des informations essentielles. Après avoir expliqué en quoi « les **stimulus visuels** sont nécessaires au développement du système visuel », il expose dans un langage simple la théorie de l'épigénèse par stabilisation sélective des synapses sans la nommer : « de nombreux circuits neuroniques sont possibles à la naissance, mais l'exercice de la vision **sélectionne** et **stabilise** les circuits qui sont fonctionnels ». Le même paragraphe continue en expliquant « le remodelage permanent des structures corticales sous l'influence de l'environnement ». Il prend l'exemple des sourds chez qui « le cortex visuel s'approprie une partie du cortex normalement destiné à l'audition » et l'exemple de l'aire corticale des « mots vus » ;

– « 3. Chacun a sa propre vision du monde ». Ce paragraphe sur la plasticité « explique que **l'environnement** puisse contribuer à façonner les potentialités individuelles ». « Les **apprentissages** et les **expériences** acquises sont à l'origine d'une organisation des neurones qui est variable d'une personne à une autre ». Finalement, ce paragraphe conclut : « aucun cerveau ne voit le monde de la même façon ! ».

Ainsi, l'épigénèse cérébrale peut être expliquée en termes simples à des lycéens littéraires, avec des exemples sur le cerveau humain qui les concernent directement (lecture, sourds...) et sans contradiction avec « le rôle des gènes » (l'expression « la part des gènes » est évitée) qui n'est en rien contradictoire avec les processus épigénétiques présentés ensuite (peu importe que le terme « épigénèse » ne soit pas présent, quand son contenu l'est). Ainsi nous constatons un contraste net par rapport au manuel de I^{re} S analysé ci-dessus, manuel qui consacrait pourtant un plus grand nombre de pages à ces questions.

La comparaison entre ces deux manuels est un bel exemple d'interaction entre des connaissances scientifiques (choix des exemples présentés et messages des conclusions tirées de ces exemples), des valeurs (constructivisme en I^{re} L, héréditarisme persistant en I^{re} S, même s'il est juxtaposé à du constructivisme) et des pratiques sociales (les effets du LSD et d'autres drogues sont abordés en I^{re} L). De façon plus générale, le choix des connaissances enseignées en I^{re} S ou I^{re} L semble dépendre de l'image que les auteurs ont des pratiques professionnelles qui s'ouvrent aux élèves respectifs de ces deux filières.

Comme nous l'avons signalé plus haut, à partir de l'analyse des programmes de ces deux classes, les élèves de I^{re} L sont volontairement sensibilisés à des questions qui ouvrent à la philosophie et à l'art et à des problèmes de société actuels. Ces conceptions illustrent l'importance du pôle P (pratiques sociales) dans notre

¹³ Les mots en gras sont également en gras dans le manuel scolaire analysé. Il en est de même dans les citations qui suivent.

modèle KVP (analysant les conceptions en tant qu'interactions entre connaissances scientifiques, systèmes de valeurs et pratiques sociales, cf. figure 1).

A contrario, les élèves de 1^{re} S n'ont pas droit à ces sensibilisations. Les connaissances enseignées sont plus héréditaristes, comme si la science enseignée à des élèves plus scientifiques devait être plus réductionniste. Les manuels sont conformes au libellé du programme reproduit dans le tableau 1. Mais comment se fait-il qu'un modèle d'interaction soit proposé en 1^{re} L alors qu'un modèle additif (dépassé) soit préféré en 1^{re} S ? L'argument de la simplicité des modèles ne tient pas ici, puisque les contenus scientifiques présentés en 1^{re} L sont plus courts et plus simples que ceux présentés en 1^{re} S. Nous reviendrons sur cette discussion en conclusion.

6. Présence ou non de rétroactions dans la perception sensorielle et les mouvements

6.1. La perception sensorielle

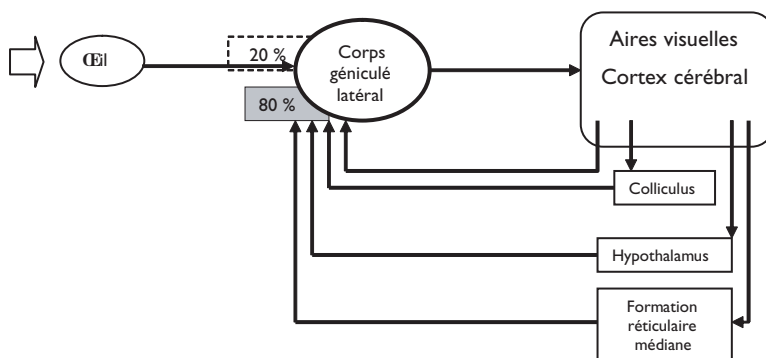
En France, la perception sensorielle est largement enseignée, à plusieurs niveaux : en 5^e, en 3^e et encore en 1^{re} (toutes filières mais avec des programmes différents : voir le tableau 1). Nous nous limiterons à un seul critère dans les manuels scolaires : la présence ou non de rétroactions. Ainsi la vision (cas le plus fréquemment traité) ou les autres perceptions sensorielles sont-elles présentées comme une suite linéaire de processus ou comportent-elles des rétroactions, des boucles de régulation ?

En effet, nous savons que les perceptions sensorielles sont en permanence régulées comme la plupart des phénomènes biologiques.

Dans le cas de la perception visuelle, avant d'atteindre le cortex visuel, les axones des cellules ganglionnaires de la rétine font relais dans un noyau gris du thalamus, le corps genouillé latéral. Les neurones de ce noyau, dont les axones sont les seuls supports par lesquels transite l'information visuelle depuis l'œil jusqu'au cortex visuel, ne reçoivent que 20 % seulement de leurs afférences à partir des yeux (nerfs optiques), tandis que 80 % viennent d'autres zones du cerveau (Singer, 1980, citée par Varela, 1989). Il n'y a donc pas une transmission linéaire simple de l'information visuelle depuis les yeux jusqu'au cortex visuel du cerveau, mais un système massivement bouclé. Arrivant dans le corps géniculé latéral, les axones qui ne viennent pas des yeux forment 80 % des afférences, provenant du colliculus

supérieur¹⁴, de l'hypothalamus¹⁵, de la formation réticulée¹⁶ et du cortex cérébral lui-même¹⁷ (figure 2).

Figure 2. Les voies visuelles indiquant les rétroactions entre le cortex et le noyau du thalamus où font relais les axones qui viennent de l'œil (le corps géniculé latéral, encore appelé le corps genouillé latéral) modifié d'après Varela (1989) qui l'avait schématisé à partir de Singer (1980)



Notre analyse des manuels scolaires français et tunisiens, de tous niveaux, montre qu'aucun des schémas des circuits visuels ne présente les rétroactions sur le corps géniculé, comme représentées sur la figue 2, et de façon plus schématique dans les diagrammes (4) et (5) de la figure 3.

Dans les manuels scolaires français et tunisiens, la grande majorité des schémas correspond au diagramme (1) de la figure 3. Dans certains manuels, le schéma du trajet de l'information visuelle est plus détaillé, correspondant au diagramme (2) de la figure 3, avec une succession d'aires visuelles dans le cortex cérébral, en chaîne linéaire¹⁸. Plus rarement sont dessinées des interactions entre les aires visuelles du cortex¹⁹ ou des interactions plus arbitraires dans la totalité du cerveau

14 Clément (1999c) a résumé les principales interactions entre vision et équilibration (oreille interne). La perte de la sensibilité d'une oreille interne provoque un trouble profond de la vision (nystagmus oculaire) qui se corrige par un phénomène de plasticité cérébrale classique.

15 La vision est fortement corrélée à l'état émotif, contrôlé notamment à partir de l'hypothalamus, lui-même carrefour neuro-hormonal influencé par ce que nous voyons.

16 Cette formation joue un rôle essentiel dans les rêves. Durant ceux-ci, le cerveau voit en utilisant ses circuits et aires visuelles, sans qu'il y ait apport des 20 % d'afférences venant des yeux, puisqu'ils sont fermés.

17 On ne peut pas voir sans interpréter ce qu'on voit. Cette boucle de rétroaction explique par exemple que le nom de ce que l'on regarde émerge à notre insu, mais aussi que, souvent, on n'arrive même pas à voir un détail auquel on ne donne pas de sens. Ces processus concernent directement l'enseignement des SVT, où l'observation joue un grand rôle.

18 Placé ainsi en bout de la chaîne de la vision, un centre intégrateur supérieur prend-il la place symbolique qu'occupait au xvii^e siècle la glande pituitaire, siège de l'âme chez Descartes ?

19 Les manuels de 3^e (Nathan 1999, p. 183), 1^{re} L (Bordas 2001, p. 45) et 1^{re} L (Hachette 2001) insistent sur les interactions entre différentes aires corticales au cours de la perception visuelle :

- le traitement du mouvement, de la couleur et de la forme correspondent à l'aire occipitale ;
- l'identification de l'objet observé sollicite une aire temporale ;
- la localisation de l'objet se réalise dans une aire pariétale.

(en 5^e en France : c'est ce diagramme que nous avons repris dans le schéma (3) de la figure 3). Quant aux diagrammes (4) et (5) de la figure 3, ils n'ont été trouvés, jusqu'ici, dans aucun des manuels scolaires consultés. Même dans le manuel de 1^{re} L, analysé ci-dessus, le schéma synthétique (page 47) reste linéaire, du type (2) sur la figure 3, aboutissant à un centre cérébral intitulé « *perception visuelle intégrée = vision du monde* », centre nerveux vers lequel convergent, d'une part, des informations venant des aires visuelles du cortex et, d'autre part, des informations venant de « *l'expérience individuelle* ». Le type (4) de la figure 3 précise certaines des interactions schématisées arbitrairement dans le diagramme (3) en représentant, de façon simplifiée, les rétroactions indiquées sur la figure 2 entre différentes zones cérébrales (cortex, hypothalamus, tectum, formation réticulée) et le thalamus (le corps genouillé latéral). Or, le thalamus, relais incontournable des voies visuelles, est par ailleurs situé et dessiné dans la plupart des manuels français de 1^{re} (y compris celui de 1^{re} L auquel nous venons de nous référer, sur la même page 47) mais uniquement pour y localiser des synapses sensibles aux drogues comme le LSD. Indiquer des rétroactions (venant du cortex ou d'autres zones de l'encéphale) sur ces neurones du corps genouillé latéral n'introduirait pas un surcroît insurmontable d'informations et permettrait d'apporter une certaine cohérence et des réponses aux questions que peuvent se poser les élèves. Cela pourrait aussi permettre d'explicitier les coordinations entre la vision et d'autres sensorialités, comme suggérées par le diagramme (5) de la figure 3 entre la vision et l'équilibration, sans entrer pour autant dans les circuits complets des trajets sur cet exemple classique de plasticité cérébrale consécutive à la section du nerf qui vient de l'oreille interne (Clément, 1999c).

En Tunisie, le seul manuel tunisien abordant la perception sensorielle est celui de la 9^e année de base (équivalent de la 3^e en France). Dans ce manuel, 13 pages sont consacrées à « *la sensibilité consciente* », sur les 34 pages qui abordent le système nerveux (thème : la fonction de relation). La vision est traitée dans ce manuel en 7 pages (essentiellement les constituants et le fonctionnement de l'œil, une seule page étant consacrée au rôle du cerveau dans la vision). Les autres perceptions sensorielles sont abordées, indépendamment les unes des autres, en 6 pages (la sensibilité générale, l'audition, le goût, l'odorat et leurs liens vers le cerveau). Tous les trajets des neurones sensoriels jusqu'au cerveau sont linéaires, sans la moindre rétroaction.

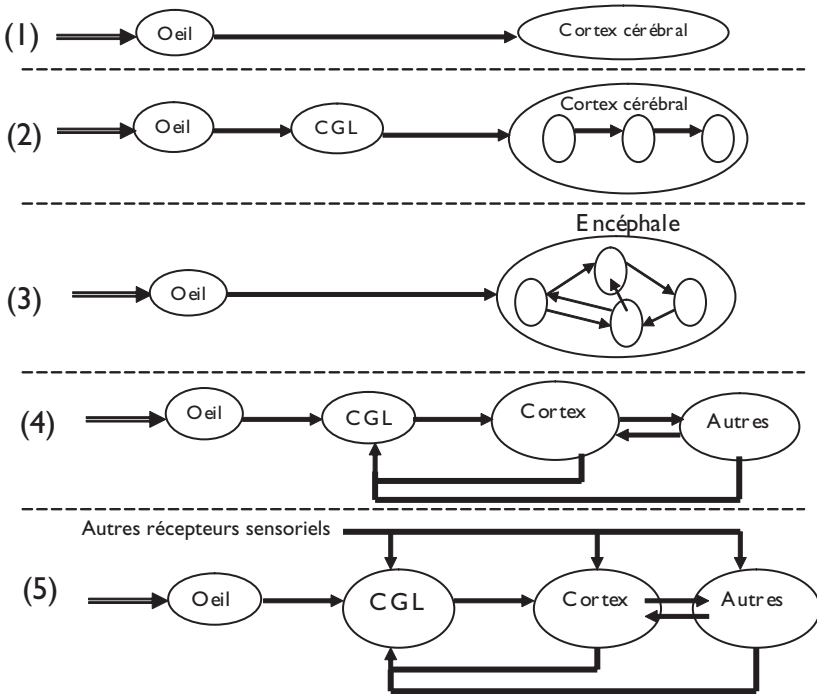
Dans les autres manuels tunisiens abordant le système nerveux au lycée (3^e et 4^e sciences expérimentales), seules les stimulations à l'origine des réflexes sont indiquées. La perception sensorielle proprement dite n'est pas abordée. Tous les trajets sont linéaires (voir plus haut pour ces schémas béhavioristes « Stimulus → Moelle épinière → Réponse »).

Figure 3. Quelques types de schémas pour les voies visuelles entre l'œil et le cortex cérébral

CGL = Corps géniculé latéral dans le thalamus ;

Autres = autres zones de l'encéphale.

Le diagramme (4) correspond à la figure 2, dans les diagrammes (3), le cortex cérébral est schématisé par une série d'interactions (arbitraires) entre différentes aires cérébrales

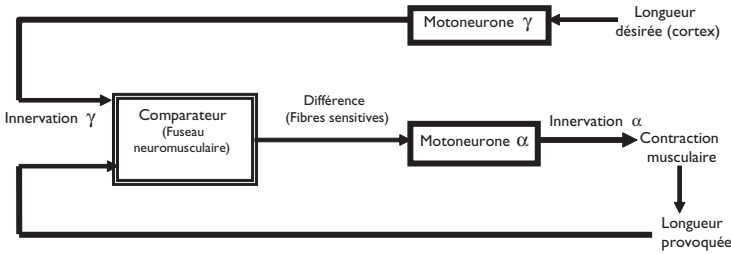


6.2. Le contrôle de la contraction musculaire

Le moindre mouvement est réglé chez un mammifère. La moindre contraction musculaire fait d'abord intervenir la contraction, par l'innervation gamma, de fuseaux neuromusculaires, qui envoient un message sensoriel au système nerveux central, qui transmet alors un ordre de contraction au muscle (innervation alpha) jusqu'à ce que la contraction attendue soit atteinte, les fuseaux neuromusculaires servant de comparateurs (figure 4, Carpenter, 1984).

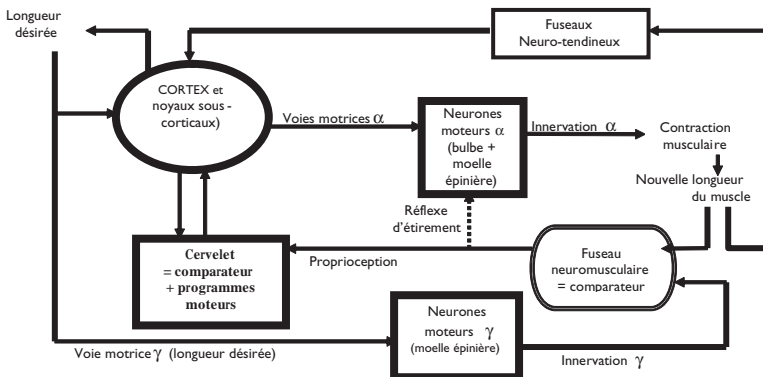
Figure 4. La contraction musculaire

Toute contraction musculaire résulte (1) de l'innervation gamma des fuseaux neuromusculaires ; (2) d'une stimulation alors envoyée par ces fuseaux vers le système nerveux central ; (3) celui-ci, par l'innervation alpha, provoque ensuite la contraction du muscle, donc aussi celle du fuseau neuromusculaire, qui joue ainsi le rôle de comparateur entre la contraction effective du muscle et la contraction désirée



Par ailleurs, le moindre mouvement d'un mammifère met aussi en jeu un autre comparateur qui participe à l'ajustement du mouvement : le cervelet. Il reçoit les fibres sensorielles kinesthésiques et peut stocker des automatismes moteurs acquis (comme ceux qui interviennent dans le jeu du violon). Le cortex intervient également dans ce contrôle des contractions musculaires volontaires, ainsi que plusieurs noyaux gris situés à la base du cerveau. Les récepteurs qui nous informent en permanence sur l'état de contraction de tous nos muscles sont, d'une part, les fuseaux neuromusculaires (proprioception) et d'autre part, les fuseaux neurotendineux. L'ensemble complet de ces rétroactions est représenté sur la figure 5 (Carpenter, 1984 ; Stewart *et al.*, 1997).

Figure 5. Schéma simplifié des principaux niveaux de contrôle de la contraction d'un muscle strié de mammifère (d'après Clément, cours de psychophysologie, 1990, université Claude-Bernard-Lyon I ; inspiré en partie de Carpenter, 1984)



La moindre contraction musculaire est d'une grande précision alliant contrôles régulés et ajustements subtils, eux-mêmes liés à nos interactions avec notre environnement. Ainsi, il est actuellement plus facile de créer et mettre en œuvre des algorithmes informatiques aussi performants que le meilleur joueur d'échecs au monde, que de permettre à un robot de verser du vin dans un verre sans en mettre à côté (Stewart, 1996).

Comment la contraction musculaire est-elle présentée dans les manuels scolaires ? Toujours selon un schéma linéaire, causal, hiérarchique, sans aucune régulation. Il peut être schématisé ainsi :

stimulus → cerveau (ou moelle épinière) → contraction du muscle

Avec parfois plus de détails pour les voies motrices :

cerveau → motoneurones (moelle) → innervation du muscle → contraction du muscle

Les schémas les plus complexes présentent les réponses motrices couplées de deux muscles antagonistes, extenseur et fléchisseur, mais l'ensemble reste linéaire, non bouclé.

Dans tous les manuels scolaires français consultés, du début du collège à la fin du lycée, aucun schéma de contraction musculaire, ni aucune explication dans le texte, ne font intervenir la double innervation gamma et alpha, ce qu'effectivement ne demande pas le programme. C'était au programme il y a une quinzaine d'années, mais ne l'est plus. Pourquoi ? Les élèves seraient-ils incapables de comprendre ce qu'est une régulation alors même qu'ils doivent maîtriser ce concept dans d'autres parties du programme (par exemple pour les régulations neurohormonales du cycle reproducteur chez la femme) ? Le président du groupe SVT du comité national des programmes (Calvino, dans un entretien avec des responsables du SNES²⁰) a pourtant affirmé que « *la démarche cybernétique peut être un outil pédagogique extraordinaire qui nous offre un langage, un formalisme extrêmement simple à manier...* ». Dans le même entretien, Calvino insiste sur l'intérêt d'introduire dans les programmes des concepts tels que l'homéostasie ou les servomécanismes. Le rôle de comparateur joué par les fuseaux neuromusculaires entrerait tout à fait dans cette perspective. De plus, l'innervation gamma n'est pas un processus marginal dans la contraction musculaire. En effet, Carpenter (1984), se référant à Matthews (1972), indique que le muscle soléaire du chat est innervé par 150 motoneurones α et 100 motoneurones γ .

Parmi tous les manuels scolaires étudiés dans ce travail, seul un manuel tunisien (terminale sciences expérimentales, page 331) introduit l'innervation gamma et le rôle des fuseaux neuromusculaires avec un schéma simple. Mais il ne le fait que

20 SNES : Syndicat national de l'enseignement secondaire.

pour expliquer le réflexe myotatique, limitant son schéma à la moelle épinière (voir à ce propos l'analyse que nous avons faite de ce manuel dans la section 4.1.).

6.3. Bilan sur les schémas linéaires ou bouclés dans l'ensemble des manuels scolaires étudiés

Tous les phénomènes biologiques sont régulés. Alors que l'approche expérimentale permet d'isoler certains déterminismes causaux pour analyser ces phénomènes, l'enseignement de la biologie se limite trop souvent à un déterminisme linéaire causal où les notions de cycle et de régulation ne sont guère présentes (Hagenhauer, 1991 ; Schneeberger, 1993 ; Rumelhard, 1994 ; Clément, 1994b).

Les théories de la complexité et de l'autoorganisation (Morin, 1986 ; Varéla, 1989 ; Stengers, 1997) rendent compte de l'émergence de performances dont aucun des éléments du système n'est à lui seul capable (synthèse dans Clément, 1994b). Aucune propriété élémentaire d'un neurone ne peut permettre de prédire les émergences de type comportement ou pensée construites par des neurones en interactions.

Dans le cadre du projet européen *Biohead-Citizen* (présenté en conclusion de cet article), nous avons élaboré une grille d'analyse critique des chapitres portant sur le système nerveux dans les manuels scolaires. Nous l'avons mise en œuvre en France et en Tunisie. Dans les lignes qui suivent, nous présentons les résultats obtenus à partir d'un point précis de cette grille : les schémas relatifs au système nerveux sont-ils linéaires, ou bouclés (avec au moins une rétroaction) ?

Nous avons défini plusieurs catégories de schémas de trajets nerveux linéaires, selon qu'ils bifurquent ou non, ont plusieurs entrées (conditionnement dans un apprentissage par exemple) ou non, plusieurs sorties (contraction coordonnée de muscles antagonistes par exemple) ou non, etc. Nous avons aussi défini plusieurs catégories de schémas bouclés, selon, par exemple, qu'il s'agit d'un seul cycle ou de plusieurs qui interfèrent. Les résultats principaux sont synthétisés dans le tableau 3 où nous avons regroupé tous les schémas en deux catégories : linéaires ou bouclés.

Les résultats sont éloquentes : en France, il n'y a quasiment aucun schéma bouclé (cycles ou présence de rétroactions) à l'exception des manuels de terminale scientifique. Pour ces derniers, les 2 ou 3 schémas bouclés concernent le rétrocontrôle de l'hypothalamus par les hormones sexuelles masculines ou féminines (par exemple en pages 280 et 283 du Nathan). En ce qui concerne les schémas relatifs aux supports neuronaux des perceptions sensorielles, des apprentissages, des mouvements ou encore du contrôle de la pression artérielle, aucun n'est bouclé, aucun n'introduit ni ne suggère une notion de régulation.

Tableau 3. Occurrences des deux grands types de schémas (linéaires ou bouclés) synthétisant des trajets neuronaux ou neuro-endocrines, dans les manuels de l'enseignement secondaire SVT en Tunisie et en France

| Pays | Manuel scolaire Editeur (Année édition), Niveau scolaire | | Nombre images avec trajets nerveux linéaires | Nombre images avec au moins une rétroaction |
|---------|--|---------------------------|--|---|
| Tunisie | CNP | 9 ^e | 4 | 0 |
| Tunisie | CNP | 3 ^e | 9 | 0 |
| Tunisie | CNP | 4 ^e (Term S) | 9 | 5 |
| France | Bordas | (1997) 5 ^e | 0 | 0 |
| France | Nathan | (1997) 5 ^e | 3 | 0 |
| France | Bordas | (1999) 3 ^e | 12 | 0 |
| France | Nathan | (1999) 3 ^e | 10 | 0 |
| France | Bordas | (2000) 2 ^{de} | 6 | 0 |
| France | Nathan | (2000) 2 ^{de} | 3 | 0 |
| France | Bordas | (2001) 1 ^{re} L | 2 | 0 |
| France | Hachette | (2001) 1 ^{re} L | 1 | 0 |
| France | Bordas | (2001) 1 ^{re} ES | 5 | 0 |
| France | Hachette | (2001) 1 ^{re} ES | 2 | 0 |
| France | Bordas | (2001) 1 ^{re} S | 11 | 0 |
| France | Nathan | (2001) 1 ^{re} S | 10 | 0 |
| France | Hatier | (2001) 1 ^{re} S | 16 | 0 |
| France | Bordas | (2002) Term S | 3 | 3 |
| France | Nathan | (2002) Term S | 0 | 2 |

En Tunisie, les 5 images du manuel de 4^e (terminales) sciences expérimentales illustrant des rétroactions concernent :

- deux schémas de rétrocontrôles exercés par des hormones sexuelles sur le complexe hypothalamo-hypophysaire (testostérone, p. 25 ; hormones ovariennes, p. 43) ;
- deux schémas sur les réflexes correcteurs de l'hypertension (p. 272) et de l'hypotension (p. 275) ;
- enfin la double innervation alpha et gamma dans le réflexe myotatique (schéma commenté plus haut).

Il ressort de cette analyse que les auteurs des programmes et manuels scolaires de SVT, en France comme en Tunisie, n'ont pas comme objectif de faire raisonner les élèves en termes de régulations, de rétroactions, de cycles, mis à part le cas (qui reste exceptionnel et doit donc être difficile à enseigner) du contrôle neuro-hormonal de la sécrétion des hormones sexuelles.

Or, nous le répétons, tous les phénomènes biologiques sont régulés et particulièrement le fonctionnement du système nerveux (rétroactions permanentes au sein des réseaux neuronaux, entre réseaux, entre aires corticales...). La situation est donc contradictoire avec l'idée annoncée par Calvino (qui présidait alors le comité national des programmes, cité ci-dessus) d'introduire les régulations dans l'enseignement des SVT (de l'homéostasie aux principes de la cybernétique et des servomécanismes).

Privilégier une approche analytique linéaire et causale à une approche qui intègre les notions de régulation, de cycle, de système, est un choix pédagogique doublement dangereux.

Ce choix est dangereux sur le plan scientifique et pédagogique tout d'abord. En effet, nos recherches ont montré que les premiers schémas associés à un concept nouveau par les élèves restent définitivement gravés dans leur mémoire (Clément *et al.*, 2003). Ils ne sont que difficilement ou jamais remplacés par des schémas explicatifs plus complexes pourtant introduits dans la suite de leurs études. L'idée d'une simplification excessive d'une connaissance scientifique, au prétexte que la connaissance scientifique actuelle, plus complexe, sera introduite ensuite pour la nuancer et la compléter, est un pari pédagogique et épistémologique risqué car la simplification sera mémorisée et le plus souvent peu ou pas remise en cause par l'enseignement ultérieur.

Ce choix est aussi dangereux sur le plan idéologique. D'une part car la seule prise en compte de démarches analytiques reliant un effet à une cause, colore la biologie d'une teinture réductionniste qualifiée par Canguilhem (1981) d'idéologie. D'autre part, habituer les élèves à privilégier des raisonnements simplistes et réducteurs (comme par exemple : un gène → un phénotype ; un microbe → une maladie ; une configuration cérébrale → un comportement...) pourrait les inciter à raisonner de la même façon dans d'autres domaines que la biologie pour expliquer des processus psychologiques, sociologiques ou politiques. Promouvoir une société plus basée sur des connaissances scientifiques, par une éducation scientifique et citoyenne des élèves et des étudiants, implique de ne pas réduire l'enseignement scientifique à des analyses réductionnistes. En effet transposé au niveau politique, ce réductionnisme privilégiant les raisonnements simplistes (une cause → un effet) à des raisonnements plus nuancés, plus démocratiques, incluant des régulations pourraient avoir des effets déplorables.

Ainsi, nos analyses révèlent l'existence et les enjeux d'interactions entre les connaissances scientifiques (K) à enseigner et des pratiques sociales (P) ainsi que des valeurs (V).

L'argument des pédagogues pour privilégier les mécanismes simples et ne les complexifier qu'ultérieurement dans le cursus scolaire, s'appuie sur la difficulté que les élèves auraient à assimiler des processus de régulation, plus subtils, nuancés,

interactifs que des déterminismes causaux simples. Des recherches restent à développer pour identifier à partir de quel âge, à l'école primaire, les élèves sont capables de conceptualiser des processus de régulation : sans doute plus tôt qu'on ne l'imagine en général. Quoi qu'il en soit, cet argument ne tient pas pour les enseignements sur le cerveau humain analysés ici puisqu'ils concernent l'enseignement secondaire et surtout le lycée. Or les élèves ont (et ont eu), à cet âge, d'autres enseignements fondés sur des régulations, non seulement sur le système nerveux (les cas rares que nous avons signalés, en particulier les régulations neurohormonales liées à la reproduction), mais surtout en écologie et dans d'autres disciplines que les SVT. Il serait utile d'introduire une formation transdisciplinaire introduisant la définition de ce qu'est une rétroaction par exemple, afin que les enseignants de plusieurs disciplines, et en particulier de SVT, puissent s'appuyer dessus lorsqu'ils traitent de la dimension régulée de la plupart des processus biologiques (au niveau des processus cellulaires, des grandes fonctions au sein d'un organisme, ou encore des écosystèmes et des dynamiques de populations).

7. Conclusions

Notre recherche a d'abord montré que les manuels scolaires, en France comme en Tunisie, sont pour l'essentiel conformes aux programmes qu'ils mettent en œuvre. Pour éviter les redondances, nous avons juste listé les titres des programmes, sans en analyser précisément les contenus afin de réserver cette analyse critique aux manuels scolaires (en sélectionnant des exemples significatifs dans quelques manuels). Une première conclusion est que les lacunes et critiques identifiées dans ce travail nous poussent, en tant que chercheurs en didactique de la biologie, à demander une révision des programmes, afin qu'en soient proposés de nouveaux qui prennent en compte les résultats de ce type de recherches.

Nous avons aussi signalé certaines différences d'un éditeur à un autre, en France (car en Tunisie il n'existe que l'édition officielle) pour le même programme du même niveau scolaire. C'est une facette de notre recherche sur laquelle le texte présenté ici n'est pas focalisé, mais qui sera développée dans un travail ultérieur. Il en est de même pour une comparaison plus systématique entre manuels tunisiens et français au cours des deux dernières décennies.

Le pôle P (pratiques sociales) des interactions KVP peut se décliner en trois types.

Une dimension relevant de l'éducation à la santé et à la citoyenneté, centrée sur une politique de prévention visant les pratiques des élèves (dangers de l'alcool et des drogues sur le cerveau et les comportements). Nous avons juste signalé que cette dimension est clairement affichée dans les programmes et manuels français alors qu'elle est absente dans les programmes et manuels scolaires tunisiens actuels. Il convient d'indiquer qu'elle sera fortement présente dans les

nouveaux programmes entrant en application à partir de septembre 2007 pour les terminales en Tunisie²¹.

Les futures pratiques professionnelles supposées des élèves français en fonction de leur filière (scientifique, littéraire ou économique et sociale). Les concepteurs des programmes et manuels ont différencié ces parcours, en choisissant des connaissances à enseigner qui diffèrent d'une filière à l'autre. Par exemple, la perception visuelle et la plasticité cérébrale sont plus développées en 1^{re} L pour ouvrir les élèves vers la philosophie et l'art. Nous avons montré que l'interaction KP (connaissances scientifiques/pratiques sociales) n'est pas dénuée de valeurs (V) sur lesquelles nous revenons plus bas. Cette différenciation des filières n'existe pas dans les programmes et manuels tunisiens actuels, mais là encore elle est en train de se mettre en place avec les tous nouveaux programmes.

Les pratiques sociales des enseignants qui ont pour conséquence d'éliminer les parties de programme jugées les plus complexes et à propos desquelles les enseignants se sentent le moins à l'aise. C'est ainsi qu'en France les chapitres consacrés au cerveau humain et à l'imagerie cérébrale n'étaient que rarement traités par les enseignants, il y a une dizaine d'années (Clément 1996, 1997). De même, en Tunisie, les programmes de 1990 abordaient des fonctions cérébrales telles que la mémoire, avec des illustrations issues de l'imagerie cérébrale, mais ces parties ont très vite été proposées par les enseignants dans les allègements et ont ensuite disparu dans les programmes de 1993 (où des thèmes comme la motricité volontaire et la vision étaient encore présents) puis dans les programmes de 1998 analysés dans le présent travail (et qui sont encore en œuvre jusqu'en 2007). À noter que l'imagerie cérébrale est totalement absente des manuels tunisiens actuels, à la demande, semble-t-il, d'enseignants qui en maîtrisaient mal l'interprétation. Elle est en revanche bien présente et actualisée dans les manuels français où ces images ont plusieurs fonctions, esthétique, illustrative et parfois même heuristique (Clément 1996).

Le présent travail a également mis en évidence de fortes interactions entre les choix de contenus scientifiques à enseigner (K) et les systèmes de valeurs (V) que nous avons tenté de caractériser sur chaque exemple. Pour conclure, nous allons recenser ces interactions KV.

Le spiritualisme (ou le dualisme cartésien). Alors que nos recherches ont jusqu'ici montré la prégnance du dualisme cartésien dans les conceptions des personnes interrogées (références citées dans l'introduction du présent travail), nous n'en avons pas trouvé de trace explicite dans les manuels scolaires étudiés. Mais l'analyse

21 Ainsi, en Tunisie, le nouveau programme de 2^e année secondaire (filiale lettres) qui vient juste d'entrer en application en 2005/2006, intègre la notion de toxicomanie (le tabagisme, l'alcoolisme et les drogues) avec un objectif d'éducation à la santé (« prendre conscience de la nécessité de se protéger contre ces fléaux et agir en conséquence »). Et les projets de programme de terminales (4^e sciences expérimentales et maths, équivalents aux terminales S en France) mentionnent « l'hygiène du système nerveux » en traitant les drogues et leurs « effets nocifs » sur le système nerveux.

suggère que ce dualisme est encore à l'œuvre dans les programmes et les manuels. Nous en rappelons deux signes. Tout d'abord une question : pourquoi les programmes (et à leur suite les manuels) conservent-ils tant de réticence à dire que la pensée, l'intelligence, sont des constructions cérébrales, au même titre qu'ils osent désormais dire que « *la vision est une construction cérébrale* »²² (Bordas 1^{re} L, p. 44) ? Ensuite nous avons montré que le cerveau est encore présenté comme étant aux commandes du corps, avec l'image d'un dualisme cerveau/corps qui n'est pas sans rappeler le dualisme esprit/corps²³.

Le positivisme. Nous en avons identifié des traces précises, surtout dans les filières scientifiques. Pour les élèves des filières scientifiques, seuls des exemples abondamment prouvés et acceptés par la communauté scientifique sont choisis alors que des exemples plus médiatiques et plus controversés, comme le déterminisme de l'intelligence ou les supports cérébraux de la pensée ne sont pas abordés. En revanche, ces questions peuvent être introduites dans les filières littéraires (1^{re} L). C'est ainsi que les élèves de 1^{re} S associeront la plasticité cérébrale aux vibrisses des rongeurs, tandis que ceux de 1^{re} L ont la possibilité de comprendre en quoi notre cerveau plastique construit sans cesse et mémorise des connaissances.

Le réductionnisme et l'héréditarisme. Canguilhem (1981) avait déjà mis en évidence l'idéologie de la biologie en l'identifiant à son approche anatomisante, puis réductionniste (voir aussi Clément *et al.*, 1981). L'idéologie du déterminisme génétique, que nous appelons « héréditarisme » (Rumelhard, 1986 ; Abrougui & Clément, 1997 ; Abrougui, 1997) en est une des manifestations les plus prégnantes et a été dominante durant la période du « *tout génétique* » (Atlan, 1999, voir d'autres références sur ce sujet dans l'introduction du présent travail). Nous avons ici mis en évidence des choix de contenus, dans des manuels de 1^{re} S ainsi que dans les manuels tunisiens, qui témoignent de la persistance de cette idéologie (place importante des réflexes innés et insistance à utiliser une expression scientifiquement dépassée comme la « *la part des gènes* »).

Le béhaviorisme. C'est sans doute à cet égard que nos résultats sont les plus nets. Le parti pris béhavioriste du manuel tunisien de terminale S est explicite. Après avoir présenté les réflexes innés (signalons à nouveau que le béhaviorisme fait bon ménage avec l'héréditarisme), il cite et illustre les travaux de Pavlov et de Skinner. Dans ce manuel, tous les comportements sont présentés comme des

22 L'argument positiviste, que nous discutons plus bas, sera peut-être avancé pour répondre à cette question : il y aurait moins de données consensuelles sur le cerveau constructeur de la pensée que sur le cerveau constructeur d'interprétations visuelles. Ce qui ne semble pas exact. Les supports cérébraux du langage (parlé, lu, écrit) qui structurent nécessairement la pensée, commencent à être connus. Nous avons d'ailleurs signalé qu'un manuel de 1^{re} L fait déjà référence à l'aire corticale des « mots lus ».

23 Dans plusieurs travaux, Clément a montré la continuité de pensée entre, d'une part, le fait de mettre les gènes ou le cerveau au pouvoir et, d'autre part, la pensée religieuse de la prédestination (Clément & Forissier, 2001) : tout serait programmé, non plus par dieu, mais par l'ADN ou par le cerveau. Dans leur ouvrage *Ni dieu, ni gènes*, Kupiec et Sonigo (2001) développent le même type d'argument.

réflexes soit innés, soit conditionnés, y compris les fonctions cérébrales supérieures. Dans les manuels français, le béhaviorisme n'est pas aussi omniprésent et exclusif. Nous avons cependant souligné qu'il est la seule référence des schémas de trajets nerveux en 5^e, 3^e et 1^{re} S. Mais, dans les nouveaux programmes de 1^{re}, il est contrebalancé par les notions d'épigenèse et de plasticité cérébrales (conception constructiviste).

Le constructivisme. Il est présent dans les programmes et manuels français (mais pas encore en Tunisie). En développant les notions d'épigenèse et de plasticité cérébrales (même si le terme d'épigenèse n'est quasiment pas utilisé), ils commencent à poser les bases biologiques du constructivisme. Ils le font de façon plus explicite dans la filière littéraire (1^{re} L) que dans la filière scientifique (1^{re} S) où ces notions restent encore juxtaposées à celles sur le déterminisme génétique du cerveau et de son fonctionnement, sans interaction claire entre les déterminismes génétiques et épigénétiques. Ces interactions sont en revanche assez claires pour les 1^{re} L. Ce pas en avant dans les programmes et manuels de SVT mérite d'être souligné et encouragé en espérant que les programmes ultérieurs présenteront plus encore les bases neurobiologiques du constructivisme.

Les régulations. Alors qu'un ouvrage coordonné par Rumelhard insistait déjà en 1994 sur l'importance d'introduire la notion de régulation à tous les niveaux et dans tous les thèmes de l'enseignement des SVT, les programmes et manuels scolaires français n'ont guère évolué dans ce sens, bien au contraire (avec la disparition de l'innervation alpha et gamma et des fuseaux neuromusculaires, qui régulent toute contraction musculaire). Nous avons mis en évidence cette lacune, d'abord sur deux exemples puis en analysant toutes les images de trajets nerveux dans tous les manuels scolaires choisis (5^e, 3^e, 2^{de}, 1^{re} et terminale S en France et leurs équivalents en Tunisie). Nous avons conclu cette analyse en soulignant les dangers de la réduction de fonctionnements régulés en déterminismes linéaires simples, isolant une cause et un effet. Dangers par rapport au savoir scientifique actuel, car tous les phénomènes biologiques sont régulés : pourquoi alors ne pas l'enseigner aux élèves ? Mais dangers aussi par rapport à une éducation citoyenne, qui doit former les élèves à pouvoir critiquer tous les simplismes réducteurs (et ceux-ci sont le plus souvent associés à des valeurs, en particulier à des idéologies réductionnistes). Former les élèves à identifier ces simplismes, ces idéologies, afin qu'ils aient les moyens de forger et d'assumer leurs propres positions est aussi une des fonctions éducatives de l'enseignement des SVT.

C'est sur la base de tels constats qu'a été mis sur pied un projet de recherche européen²⁴ concernant 19 pays (dont 6 hors de l'Europe) pour analyser les programmes et manuels scolaires ainsi que les conceptions des enseignants et futurs enseignants, sur 6 thèmes, dont le cerveau humain et la génétique humaine.

²⁴ *Biohead-Citizen (Biology, Health and Environmental Education for better Citizenship)* : <http://www.biohead-citizen.net>

L'objectif de ces recherches est d'améliorer les programmes et manuels scolaires dans les 19 pays concernés (dont font partie la France et la Tunisie) et d'identifier, dans les conceptions des enseignants, ce qui pourrait faire obstacle à un renouvellement des enseignements (sur le cerveau humain par exemple). Le présent travail est une première contribution à ce projet. ■

REMERCIEMENTS

Notre recherche a bénéficié notamment du soutien du projet européen *Biohead-Citizen* (*Biology, Health and Environmental Education for better Citizenship*, Specific Targeted Research n° CICT-CT-2004-506015, FP6, Priority 7, 2004 à 2007), et du projet PCSI de l'AUF (Agence universitaire de la francophonie) « Développer plus de citoyenneté dans l'enseignement de la Biologie et de l'Environnement » (2005 & 2006).

BIBLIOGRAPHIE

- ABOU TAYEH P. (2003). *La biologie entre opinions et connaissances : Conceptions d'enseignants et d'étudiants libanais sur le cerveau et son épigénèse, et sur d'autres déterminismes génétiques/épigénétiques*. Thèse de doctorat en didactique, université Claude-Bernard-Lyon I, Lyon.
- ABROUGUI M. (1997). *La génétique humaine dans l'enseignement secondaire en France et en Tunisie. Approche didactique*. Thèse de doctorat en didactique, université Claude-Bernard-Lyon I, Lyon.
- ABROUGUI M. & CLÉMENT P. (1997). Enseigner la génétique humaine : citoyenneté ou fatalisme ? In A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éd.). *Actes JIES (Journées internationales sur l'éducation scientifique)*, Chamonix, n° 19, p. 255-260.
- ATLAN H. (1999). *La fin du « tout génétique »*. Paris : INRA Éditions.
- BUISSERET P. (Éd.) (1999). *Mille cerveaux, mille mondes*. Paris : Nathan : MNHN.
- CANGUILHEM G. (1981). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*. Paris : Vrin.
- CARPENTER R.H.S. (1984). *Neurophysiology*. London : Edward Arnold.
- CHANGEUX J.-P. (1983). *L'homme neuronal*. Paris : Fayard.
- CHANGEUX J.-P. (2002). *L'homme de vérité*. Paris : Odile Jacob.
- CHANGEUX J.-P. & RICŒUR P. (1998). *Ce qui nous fait penser : la nature et la règle*. Paris : Odile Jacob.

- CHEVALLARDY. (1985). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La pensée sauvage.
- CLÉMENT P., BLAES N., BLAINEAU S., DEBARD E., JOURDAN F. & LUCIANI A. (1981). *Biologie et société : le matin des biologistes ?* Paris : Éd. Raison Présente.
- CLÉMENT P. (1984). Didactique et représentations des comportements humains sans supports neurobiologiques ? *Bull. SFECA*, n° 1, p. 75-77.
- CLÉMENT P. (1986). *Réaliser une animation scientifique*. Lyon : T de T.
- CLÉMENT P. (1993). Conceptions sur le cerveau : santé et normalisation. In J.-Cl. Beaune (dir.). *La philosophie du remède*. Seyssel : Champ Vallon, p. 154-174.
- CLÉMENT P. (1994). La difficile évolution des conceptions sur les rapports entre cerveau, idées et âme. In A. Giordan, Y. Girault & P. Clément *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang, p. 73-91.
- CLÉMENT P. (1994b). De la régulation à l'auto-organisation. In G. Rumelhard. (dir.) *La régulation en biologie. Approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation*. Paris : INRP, p. 7-24.
- CLÉMENT P. (1996). L'imagerie biomédicale : définition d'une typologie et proposition d'activités pédagogiques. *Aster*, n° 22, p. 87-126.
- CLÉMENT P. (1997). Introduction to the didactics of the biomedical imagery in the secondary school. In H. Bayerhuber & F. Brinkman (Eds.). *What – Why – How ? Research in didaktik of Biology*. Kiel : IPN – Materialien, p. 311-320.
- CLÉMENT P. (1998). La biologie et sa didactique. Dix ans de recherches. *Aster*, n° 27, p. 57-93.
- CLÉMENT P. (1999). Situated conceptions. Theory and methodology. From the collection of data (on the brain) to the analyse of conceptions. In M. Méheut & G. Rebmann. *Fourth European Science Education Summerschool*. ESERA : SOCRATES : université Denis-Diderot–Paris 7, p. 298-315.
- CLÉMENT P. (1999). À chaque animal, son monde : la place du cerveau dans la notion d'*umwelt*. In P. Buisseret (Éd.). *Mille cerveaux, mille mondes*. Paris : Nathan : MNHN, p. 129-131.
- CLÉMENT P. (1999). Un exemple vécu de plasticité cérébrale : la compensation vestibulaire. *Biologie-Géologie*, n° 4, p. 731-736.
- CLÉMENT P. & HOVART S. (2000). Environmental Education : analysis of the didactic transposition and of the conceptions of teachers. In H. Bayerhuber & J. Mayer (Eds.). *State of the art of empirical research on environmental education*. Münster : Waxmann Verlag, p. 77-90.

- CLÉMENT P. & SAVY C. (2001). Le cerveau des hommes et des femmes : conceptions d'universitaires algériens. *Didactique de la biologie : recherches, innovations, formations*. Alger : ANEP, p. 151-163.
- CLEMENT P., FORISSIER T. & CARVALHO G. (2003). The structuring influence of first images on the construction of science concepts. An historical and didactical approach. *Acts of the 4th ESERA Conference*. Noordwijkerhout : the Netherland : cédérom – ESERA.
- CLÉMENT P. (2004). Science et idéologie : exemples en didactique et en épistémologie de la biologie. *Actes du colloque SMS Science – Médias – Société*. Lyon : ENS-LSH. Disponible sur Internet : <http://sciences-media.ens-lsh.fr> (consulté le 1^{er} juillet 2006)
- EDELMAN G.M. (2000). Pour une approche darwinienne du fonctionnement cérébral. *La Recherche*, n° 334, p. 109-111.
- FORISSIER T. & CLÉMENT P. (2003). Teaching "biological identity" as genome/ environmental interactions. *Journal of Biological Education*, vol. 37, n° 2, p. 85-91.
- FOTTORINO E. (1998). *Voyage au centre du cerveau*. Paris : Éd. Stock.
- HAGUENAUER C. (1991). *Comprendre par les cycles et les cycles pour apprendre...* Thèse de doctorat de l'université Henri-Poincaré-Nancy I, Nancy.
- HARRIS Z.S. (1952). Discourse analysis. *Language*, n° 28 (traduit dans *Langages*, n° 13, 1969).
- HOUDÉ Olivier (2002). Le développement de l'intelligence chez l'enfant. In Y. Michaud (dir.). *Le cerveau, le langage, le sens*. Paris : Odile Jacob.
- JACQUARD A. (1972). *Éloge de la différence*. Paris : Éd. du Seuil.
- JACQUARD A. & KAHN A. (2001). *L'avenir n'est pas écrit*. Paris : Bayard.
- JACOBI D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne : Peter Lang.
- KUPIEC J.-J. & SONIGO P. (2000). *Ni dieu ni gène*. Paris : Éd. du Seuil.
- MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND J.-L. (2001). Pratique de référence et problématique de la référence curriculaire. In A. Terrisse. *Didactique des disciplines, les références au savoir*. Bruxelles : De Boeck, p. 17-24.
- MATHY P. (1997). *Donner du sens aux cours de sciences. Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants*. Bruxelles : De Boeck.

- MAZOYER B. (2002). Le cerveau de la connaissance : physiologie de la cognition et image du cerveau. In Y. Michaud (dir.) *Le cerveau, le langage, le sens*. Paris : Odile Jacob.
- MORIN E. (1986). Sur la définition de la complexité. *Science et pratiques de la complexité*. Paris : La Documentation Française, p. 79-86.
- NDIAYEV. & CLÉMENT P. (1998). Analyse des conceptions d'élèves-professeurs au Sénégal, sur le cerveau : prégnance du dualisme cartésien ? *Liens, nouvelle séries* (ENS, Dakar), n° 1, p. 3-15.
- RUMELHARD G. (1986). *Les représentations de la génétique*. Berne : Peter Lang.
- RUMELHARD G. (dir.) (1994). *La régulation en biologie. Approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation*. Paris : INRP, p. 7-24.
- SCHNEEBERGER P. (1993). Difficultés liées au vocabulaire : le cas du concept de régulation en biologie. *Didaskalia*, n° 2, p. 73-88.
- STENGERS I. (1997). *Cosmopolitiques. Tome 6 – La vie et l'artifice : visages de l'émergence*. Paris : La Découverte : Les empêcheurs de penser en rond.
- STEWART J. (1993). Au delà de l'inné et de l'acquis. *Intellectica*, n° 16.
- STEWART J., SCHEPS R. & CLÉMENT P. (1997). Une interprétation biologique de l'interprétation. II – La phylogénèse de l'interprétation. In J.M. Salanskis, F. Rastier & R. Scheps. *Herméneutique : textes, sciences*. Paris : PUF, p. 209-232.
- VARELA F.J. (1989). *Autonomie et connaissance. Essai sur le vivant*. Paris : Éd. du Seuil.