

## **Note thématique**

### **6. Les avancées des sciences cognitives et les évolutions des pédagogies**

**Antoine Gautier<sup>1</sup>**

#### **Avertissement**

Ce document fait partie d'une étude de Futuribles International sur les défis auxquels seront confrontés les systèmes d'enseignement et de formation en France à l'horizon de 15 ans et sur les pistes innovantes qui pourraient être suivies dès aujourd'hui pour les relever.

Cette étude a donné lieu à la réalisation :

- d'un document de diagnostic sur le système d'enseignement et de formation français ;
- d'une dizaine de notes thématiques portant sur les principaux déterminants (démographiques, économiques, sociaux, culturels, scientifiques ou techniques) qui apparaissent porteurs de transformations profondes tant des objectifs suivis par les structures d'enseignement et de formation que des modalités d'apprentissage ;
- de monographies portant sur l'organisation et le fonctionnement de cinq systèmes éducatifs de pays membres de l'Union européenne, ainsi que sur les enjeux auxquels ils sont confrontés.
- d'un catalogue de 85 innovations repérées en Europe et dans le monde, dont l'objectif est de stimuler la réflexion sur les différentes possibilités de réformes des dispositifs d'éducation et de formation français ;
- d'un rapport final proposant une synthèse des principales tendances structurantes pour l'avenir des systèmes éducatifs et des enjeux qui y sont associés.

Cette étude a pour ambition d'être utile aux acteurs publics et privés intervenant dans les champs de l'éducation et de la formation, en leur fournissant des éléments de réflexion prospective appropriables et des idées d'actions pouvant être menées à différentes échelles pour moderniser les dispositifs existants.

---

<sup>1</sup> Enseignant à l'université Paris IV. Cette note n'engage que son auteur.

Cette étude a été réalisée grâce au soutien de :



## I. Pédagogies et apprentissages : coup d'œil rétrospectif

La **PEDAGOGIE** a pour objet le champ de la relation interpersonnelle et sociale qui intervient dans le traitement de l'information et sa transformation en savoir dans la situation réelle du micro-système de la classe (Altet, 2006).

Cette structure de base (fig.1) est susceptible de donner lieu à des modèles pédagogiques différents selon la façon dont les éléments sont instanciés et/ou selon les rapports qui les unissent. Ces différents modèles s'appuient sur un réseau plus ou moins explicite de conceptions scientifiques, sociales, morales, voire politiques, relatives au statut respectif de l'enfant et de l'enseignant, aux processus d'apprentissage, au rôle du groupe, aux pratiques à adopter, etc., etc.

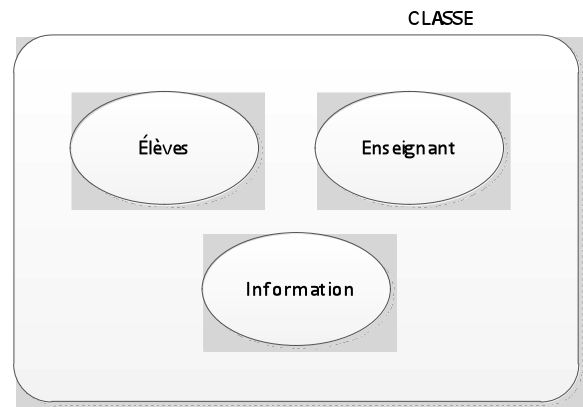


FIG. 1 - TRIANGLE PEDAGOGIQUE (D'AP.HOUSSAYE, 2000)

En tant que telle, la réflexion pédagogique présuppose la reconnaissance d'une spécificité de l'enfant, qui n'émerge véritablement qu'à l'époque moderne. De ce fait, même si l'on peut citer des précurseurs comme Rousseau ou Comenius, et même si le XIX<sup>e</sup> siècle marque l'explosion de la réflexion pédagogique en Europe (avec la création du bureau de l'Éducation nouvelle en 1899), ce n'est qu'au début du siècle suivant que la discipline prend sa forme moderne à partir d'un examen critique de l'existant.

Dès le départ se dégagent deux tendances larges : la première rassemble les tenants d'une pédagogie traditionnelle, la seconde subsume les multiples modèles alternatifs, nourris de théories diverses, qui visent en particulier à engager une « révolution copernicienne de la pédagogie » (Altet, 2006) en plaçant l'élève au centre du dispositif d'enseignement.

### LA PEDAGOGIE « TRADITIONNELLE »

**STRUCTURE** - Cette étiquette, dont la paternité revient sans doute aux tenants des « nouveaux » modèles, recouvre les **PEDAGOGIES EMPIRISTES** centrées sur le maître, pédagogies de la connaissance dans lesquelles l'enseignant transmet aux élèves un savoir pré-structuré, « réifié », dont ces derniers doivent « s'imprégner », sur lequel ils n'ont aucune prise, et qui ne prend pas en compte leurs processus d'apprentissage. Ce modèle « magistrocentriste » a pour cadre et modalités privilégiés le cours magistral devant le public captif d'une salle de classe (ou d'un amphithéâtre), au cours de séances conçues comme des segments de temps de travail.

**BASES THEORIQUES** – Avant l'ère moderne, on peut schématiquement affirmer que l'enseignement ne reposait sur aucune théorie explicite de l'apprentissage, si ce n'est l'injonction d'imiter un maître investi de prestige et d'autorité, et d'assimiler par la répétition les connaissances qu'il prodigue et qui sont censées être attractives, sinon désirables. Cependant, le behaviorisme a pu occasionnellement fournir *a posteriori* à la pédagogie

traditionnelle un modèle de psychologie de l'apprentissage assez compatible avec sa structure. On retrouve en effet dans cette théorie le rejet de tout mentalisme ainsi qu'une conception de l'apprentissage comme *conditionnement* par le biais de renforcements positifs (récompenses) ou négatifs (sanctions). Il faut cependant noter que le psychologue behavioriste B. Skinner (1904-1990), inventeur de l'enseignement programmé, s'est montré très critique envers la pédagogie traditionnelle, qu'il jugeait fondée en majeure partie sur le renforcement négatif (*i.e.* peur de la mauvaise note et de la punition).

**CRITIQUES** – Le modèle traditionnel suscite depuis plus d'un siècle de nombreuses critiques ; on retiendra surtout le fait qu'il s'agit d'un modèle accordant peu d'importance à la diversité des élèves, à leur créativité et à leur mode d'apprentissage, et qui prive ces derniers d'autonomie face au savoir. Toutefois, ces défauts sont souvent exagérés ou caricaturés par le camp des réformateurs. Sans doute faut-il d'ailleurs ne voir le modèle traditionnel que comme un modèle stéréotypique, du moins aujourd'hui : dans les faits, on voit rarement subsister le principe du cours magistral ailleurs qu'à l'université, et la plupart des collèges français, tout en conservant une structure de classe<sup>2</sup>, appliquent des programmes scolaires nourris de certains apports de l'Éducation nouvelle et des études de psychologie de l'apprentissage.

## **LES PEDAGOGIES « NOUVELLES »**

Les XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles voient apparaître en Europe et aux États-Unis un certain nombre de modèles pédagogiques qui, par-delà leurs différences, ont pour origine commune le rejet de l'éducation traditionnelle. Parfois adossés à des *théories de l'apprentissage* explicites, ou à des convictions morales et politiques (voire religieuses), parfois indissociables d'un père fondateur, ces modèles ont d'abord eu vocation à se démarquer du schéma éducatif dominant en centrant leur dispositif non sur l'enseignement, mais sur l'apprentissage, autrement dit sur l'élève plutôt que sur le professeur ou le savoir qu'il transmet. Ces modèles minoritaires constituent des alternatives au système éducatif en place, et ils sont de fait souvent (mais pas toujours) cantonnés dans des établissements privés, les écoles publiques expérimentales demeurant très peu nombreuses.

### ***LES CLASSES FREINET***

Fondé officiellement en 1944 par l'instituteur Célestin Freinet à partir d'expérimentations conduites depuis les années 1920, le mouvement Freinet est, en France, le plus connu des courants d'éducation nouvelle. Quoiqu'inspiré par les conceptions pédagogiques de John Dewey (*hands-on learning*, qui correspond à la pédagogie active – voir ci-dessous) et par ses visites dans d'autres écoles alternatives, il ne s'appuie pas sur un canon pédagogique délimité, mais sur un ensemble modulable de *valeurs* et de *techniques*.

Les premières reposent sur des « invariants pédagogiques » qui visent à fonder un enseignement humaniste et populaire dans lequel la motivation du travail se substitue à la contrainte, le tâtonnement expérimental et l'acquisition à la répétition « scolastique », et la coopération à l'autorité ; les secondes constituent un répertoire d'activités ponctuelles ou régulières : composition par les élèves d'un quotidien ou d'un *dazibao*, dessin et expression

---

<sup>2</sup> C'est-à-dire un enseignant et une trentaine d'élèves dans 30 m<sup>2</sup> (durant 55 minutes).

libres, travail libre en groupe (inspiré de Cousinet), animation d'une coopérative de classe, etc.

Souvent, les critiques adressées aux techniques Freinet ont plutôt visé leur fondateur, militant communiste qui prônait notamment l'abolition de l'estrade et de toute autorité professorale de droit, et qui prêtait facilement aux méchantes caricatures du pédagogue libertaire. Si l'on peut rétrospectivement reprocher au modèle son manque relatif de fondement théorique, on ne lui dénierait pas une certaine cohérence, puisqu'il s'est constitué en s'appliquant de ses principes essentiels, le « tâtonnement expérimental ». En outre, bon nombre des pratiques propres aux classes Freinet ont devancé, et de loin, des préceptes « découverts » ailleurs beaucoup plus tard, voire encore en chantier, comme l'utilisation des TICE (technologies de l'information et de la communication pour l'éducation), l'importance accordée à la littérature informationnelle (développement de la compétence documentaire), etc.

**RESEAU** - Il n'existe en France qu'un seul établissement Freinet, l'école publique expérimentale de Vence, qui est la maison-mère du mouvement. En revanche, un certain nombre d'enseignants pratiquent la méthode dans leur classe (1% ou 2% du corps enseignant, source : Peyronie, 1999, p.110).

### ***LES ECOLES MONTESSORI***

Fondée par le médecin italien Maria Montessori (1870-1952), spécialiste des enfants souffrant de retards de développement, la pédagogie Montessori s'est constituée autour de quelques principes fondamentaux, comme le respect des rythmes et des spécificités de chaque enfant (une « pédagogie différenciée » avant la lettre), et l'éducation sensorielle. Particulièrement adaptée à la petite enfance, la pédagogie Montessori repose en fait sur le développement à la fois encadré et autonome des sens et des fonctions cognitives (par exemple capacités numériques simples, raisonnement inférentiel, acquisition lexicale, etc.), qui préfigure le constructivisme piagétien. Soucieuse d'offrir à l'enfant un environnement familier propice à son développement, Maria Montessori conçoit à partir des travaux de Jean Itard et d'Édouard Seguin un « matériel sensoriel » constitué d'objets colorés de formes simples, à taille d'enfant, à partir duquel les élèves peuvent librement expérimenter et développer ainsi leurs facultés, y compris le langage oral et écrit.

Les principes de ce modèle ont été diffusés avec succès auprès des enseignants de maternelle et des petites classes du primaire. Du fait des formations dispensées par Montessori à l'étranger, et des conférences qu'elle y a données, sa pédagogie prend très tôt une dimension internationale : un grand nombre d'écoles labellisées « Montessori » se sont ouvertes dans la plupart des pays industrialisés (environ 5 000 établissements rien qu'aux États-Unis, où l'influence de Dewey a été déterminante).

**RESULTATS** - Une étude conduite par Lillard & Else-Quest (2006) sur des enfants américains de 3 à 12 ans a montré que les élèves ayant bénéficié d'une pédagogie Montessori surpassaient largement ceux qui avaient été scolarisés dans un cursus traditionnel sur les plans cognitif, académique, créatif, et même socio-comportemental. Si l'étude veillait bien à considérer des enfants issus des mêmes CSP et à neutraliser tous les biais éventuels que peut

présenter ce genre d'étude, on pourra néanmoins observer qu'elle ne prenait en compte qu'une seule école Montessori, ce qui limite la portée des généralisations.

### ***AUTRES PEDAGOGIES ET MODELES ALTERNATIFS***

En France, les modèles Freinet et Montessori sont les plus familiers et les plus représentatifs du mouvement de l'Éducation nouvelle, mais de très nombreuses pédagogies non traditionnelles ont été mises au point et appliquées ailleurs, si bien qu'il est impossible d'en établir une liste exhaustive. On peut toutefois mentionner quelques modèles de premier plan, qui tantôt sont restés autonomes, tantôt ont inspiré ou intégré d'autres types de pratiques.

- **LA PEDAGOGIE STEINER-WALDORF** (1919), fondée sur la pensée spiritualiste de Rudolf Steiner (*l'anthroposophie*), prône une éducation complète du corps et de l'esprit, notamment par la pratique de l'*eurythmie*, un exercice combiné du chant, de la déclamation et du mouvement corporel. Dans le modèle anthroposophique de Steiner, l'apprentissage est divisé en cycles de sept ans censés correspondre aux stades du développement spirituel des enfants. Bien que le mouvement Steiner-Waldorf soit fort d'un millier d'écoles dans le monde (et davantage de classes maternelles<sup>3</sup>) et que les élèves qui en sortent affichent un taux de réussite au moins égal à celui des autres, on a souvent critiqué la tendance sectaire du mouvement, la figure quelque peu douteuse du père fondateur, ainsi que ses conceptions pseudo-scientifiques (mais qui ne sont pas enseignées en tant que telles).
- **LA PEDAGOGIE ACTIVE ET LA PEDAGOGIE DE PROJET.** On peut considérer John Dewey comme l'un des premiers à affirmer l'importance de l'action et de l'application dans le cadre éducatif. Ces principes seront confortés par le constructivisme de Piaget, et ont été repris dans un grand nombre de modèles de l'Éducation nouvelle (Freinet, Decroly, ou Cousinet) et sont aujourd'hui couramment pratiqués dans les écoles dites « traditionnelles ». L'idée fondamentale de la pédagogie active est de placer l'élève au centre du dispositif d'apprentissage et de le laisser construire son propre savoir par la pratique d'essais-erreurs, en lui confiant des tâches concrètes à accomplir, dont la finalité lui est accessible. Cela s'oppose très directement à la conception « traditionnelle » de l'enseignement, qui privilégie la transmission à l'élève d'un savoir détenu par le maître. La pédagogie de projet, elle aussi préfigurée par Dewey, présuppose en quelque sorte la précédente en y ajoutant une dimension sociale et coopérative. Elle repose également sur l'idée que l'élève apprend mieux si son *intérêt* est éveillé, si la tâche qu'on lui soumet ou qu'il a choisie lui apparaît motivée et si elle est ancrée dans la réalité matérielle et sociale. Il s'agit en somme de donner du sens aux apprentissages tout en favorisant la coopération entre les apprenants. La pédagogie de projet s'appuie sur une suite d'opérations et de choix auxquels les élèves prennent une part active (figure 2), sous la tutelle d'un enseignant qui agit simplement comme un guide. Dans cette optique, le résultat final importe en fait assez peu : on parle de pédagogie « du détour », car le projet vise à faire apprendre par la rencontre de problèmes concrets et la recherche de solutions, qui sont les véritables objets de

---

<sup>3</sup> [http://www.iaswece.org/en/world\\_lists/kingergartens.aspx](http://www.iaswece.org/en/world_lists/kingergartens.aspx)

l'enseignement. C'est ce principe que l'on a voulu appliquer au lycée en France dans les travaux personnels encadrés (TPE), mais qui a été critiqué pour sa mise en œuvre assez lourde, humainement et financièrement.

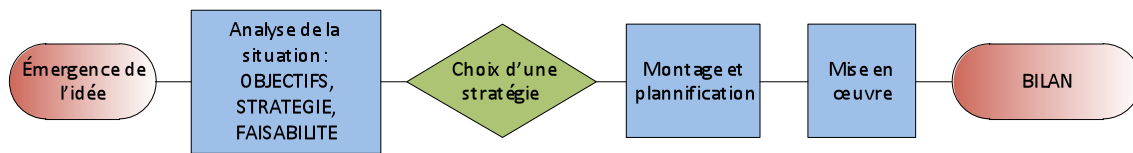


FIGURE 2 - PEDAGOGIE DE PROJET

- Les **PEDAGOGIES SOCIO-CENTRISTES** recouvrent, au moins partiellement, les modèles de Makarenko et de Vygotski, qui font de la prise en compte du facteur social un élément déterminant. Le premier, pédagogue socialiste, verra au début des années 1940 sa conception collectiviste de l'éducation appliquée dans toute l'URSS. Chez le second, censuré en URSS entre 1940 et 1960, le langage écrit et oral joue un rôle déterminant dans le développement des fonctions psychiques supérieures de l'individu, en particulier par le biais de l'échange verbal qui le met en œuvre. En cela, le constructivisme de Vygotski est bien social, puisque les apprentissages sont conditionnés par l'interaction avec autrui et avec l'environnement et que, d'autre part, ils ne visent qu'à améliorer cette interaction. Un concept essentiel des travaux de Vygotski est celui de *zone proximale de développement*, qui désigne les tâches que l'enfant (ou l'adulte) est d'abord incapable d'accomplir seul, mais qu'il pourra accomplir avec l'aide de l'enseignant. Il s'agit en quelque sorte d'un *horizon immédiat de développement*, dont l'apport est capital en sciences de l'éducation, puisqu'il vise à déterminer une progression réaliste dans l'acquisition des savoirs et des savoir-faire.

Cette liste non exhaustive démontre bien que l'appellation même de « pédagogie » désigne des objets théoriques très différents : il peut s'agir des *versions appliquées de théories scientifiques* (comme chez Vygotski ou Skinner), de *méthodes construites par expérimentation* (chez Freinet, par exemple) ou encore de *systèmes de pensée complets*, parfois teintés de mysticisme (ainsi chez Steiner).

## **Bilans intermédiaires : quels modèles aujourd'hui ?**

Du fait même de cette pluralité hétérogène de théories éducatives aux fondements parfois peu scientifiques, le débat sur l'éducation a pris un tour fortement polémique, d'où la caricature est rarement absente, et qui se résume à une guerre de tranchée stérile entre les « pédagogistes » issus des sciences de l'éducation d'une part, et les partisans de la blouse grise d'autre part. Les réformes des années 1970-1990, et notamment la loi d'orientation de 1989, dite loi « Jospin », qui place explicitement l'élève au centre des apprentissages, n'ont pas permis d'enregistrer d'amélioration sensible du niveau des élèves, et les dernières réformes des programmes (à partir de 2007) initiées sous la présidence Sarkozy ont marqué une réorientation plus traditionaliste, tout en imputant la déconfiture du système éducatif aux changements apportés dans les décennies précédentes.

Pour rassurant qu'il puisse paraître à certains, un tel retour en arrière ne tient guère compte des points de bilan positifs des innovations pédagogiques. Or, celles-ci ont été et sont toujours en réalité assez nombreuses, mais dispersées, sporadiques et finalement peu suivies ou relayées, qu'elles aient réussi ou non. De fait, la suspicion qui frappe les modèles alternatifs (et, par ricochet, presque tout travail réflexif sur l'éducation) et le coût qu'entraînerait leur adoption à grande échelle convergent vers une solution de repli conservatrice et laissent donc tomber dans l'oubli les succès ponctuels des expérimentations éducatives.

## Et demain ?

Il faut néanmoins reconnaître que les innovations des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles visaient principalement à améliorer un système éducatif en place, mais qu'elles ne disposaient guère d'assise empirique ou expérimentale incontestable, ce qui limitait grandement leur impact sur une institution aussi massive que l'éducation d'État. Or, les profonds changements qui ont commencé à affecter la société de l'information depuis la fin du XX<sup>e</sup> ne rendent pas seulement *possible* une réforme de l'éducation, ils la rendent *nécessaire* et *inéluçtable*. Si, d'une part, les découvertes des neurosciences confèrent en effet une connaissance plus précise des mécanismes d'apprentissage, permettant d'espérer de nouveaux progrès en ce domaine, la révolution numérique modifie quant à elle nos capacités à apprendre, notre accès à l'information, mais aussi le statut même de la connaissance — autrement dit tout ce qui déterminait jusqu'alors notre conception de l'enseignement.

⇒ En conséquence, à moyen et long terme, il semble difficile d'envisager simplement que les sciences cognitives « nourrissent » le système éducatif actuel de leurs découvertes : elles s'inscrivent dans un changement beaucoup plus large, une « révolution copernicienne » qui place le savoir au centre de la société<sup>4</sup>, révolution qui est à la fois technologique, social et culturelle, en somme un changement de *Weltanschauung*, de « vision collective du monde », auquel l'école devra nécessairement s'adapter sans se contenter de simples retouches cosmétiques cognitivistes.

## Quelles bases scientifiques pour l'éducation ?

### DEUX EXEMPLES DE THEORIES DE L'APPRENTISSAGE

Si les neurosciences cognitives constituent aujourd'hui le paradigme dominant et le candidat idéal à une (re-)fondation scientifique de la pédagogie, elles s'inscrivent à la suite de deux modèles bien connus en psychologie pour leurs applications dans le domaine de l'enseignement. Le **BEHAVIORISME** est une psychologie expérimentale qui s'est imposée dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle (Watson, 1913) à partir du rejet de toute considération apportée à l'âme, à l'esprit, ou même à la conscience. Les seuls observables pris en compte sont les comportements, en tant qu'ils constituent des réponses à des *stimulus*. Sur les acquis de Pavlov, et inspiré par les travaux de Thorndike (apprentissage par essais et erreurs), John Watson élabore une théorie de l'apprentissage centrée sur la notion de conditionnement,

---

<sup>4</sup> Kōichirō Matsuura (DG de l'UNESCO de 1999 à 2009), cité dans Enlart & Charbonnier, 2010.

comprise comme une modification du comportement face à un stimulus. À partir des années 1930, les travaux de Burrhus Skinner mettent au jour la notion de *conditionnement opérant*, qui diffère de la version précédente en ce que c'est le stimulus qui *suit* une action qui va, s'il est agréable, fonctionner comme une récompense et entraîner la répétition du comportement (c'est la « loi de l'effet » de Thorndike).

Le behaviorisme a fourni des applications importantes dans le domaine de l'éducation, mais essuyé aussi de vives critiques pour la prétention qu'il avait à constituer un modèle d'apprentissage universel, et pour le caractère déshumanisé qu'on prêtait à ses pratiques. Le *drill and practice* de Thorndike en est un exemple, mais le cas le plus emblématique reste celui de l'*enseignement programmé* de Skinner, célèbre pour son usage de « machines à enseigner ». Le principe de cette pédagogie est de diviser les contenus de savoir en très petites unités, de tester les apprenants après l'acquisition de chacune de ces unités, puis de leur donner un *feedback* immédiat sur la validité de leur réponse. Il faut noter que, pour Skinner, l'erreur et sa sanction ne jouent aucun rôle dans l'apprentissage : l'essentiel est de susciter de nouveaux comportements positifs, aussi l'objectif de l'enseignement programmé est-il d'obtenir au moins 95 % de réussite chez les élèves. Présentée de la sorte, la pédagogie de Skinner peut paraître inquiétante, et ses détracteurs n'ont pas manqué de le souligner. Il faut toutefois rappeler que Skinner est aussi un défenseur convaincu de l'enseignement individualisé et de la gestion adaptée des comportements déviants dans le contexte de la classe. Cela n'a pas empêché le behaviorisme de trouver ses limites théoriques après quelques décennies de rapide développement, ni de se heurter aux critiques violentes des premiers « cognitivistes », dont le jeune Noam Chomsky, qui prônait un mentalisme absolu et exclusif, radicalement opposé aux principes de Skinner et ses collègues.

Étroitement associé au nom de Jean Piaget (1896-1980), le **CONSTRUCTIVISME** énonce que le sujet construit son savoir par interaction avec l'objet. Au départ se mettent en place des *schèmes d'assimilation*, c'est-à-dire des modes d'appréhension du monde extérieur. Dans la théorie piagétienne, le sujet va à la rencontre de l'objet pour l'assimiler à ses schèmes, et selon l'issue de cette « rencontre », il renforcera ses représentations préalables ou au contraire, pour peu qu'il y voie un intérêt, il les modifiera, acquérant de nouvelles connaissances.

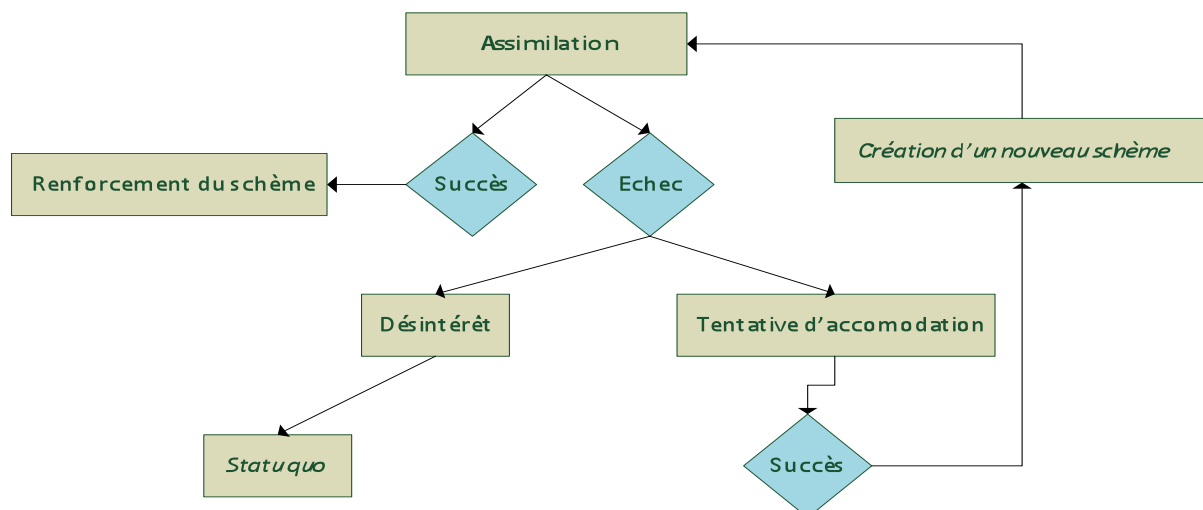


FIGURE 3 - ASSIMILATION (PIAGET, D'AP. CRAHAY, 2010)

Le constructivisme est une « théorie du sujet qui, s'efforçant d'optimiser ses échanges avec le milieu, s'autoconstruit en intégrant à la fois les produits et les mécanismes de sa pensée » (Crahay, 2010). Théorie du « sujet créateur de connaissances », elle n'a pas en soi valeur de théorie pédagogique, mais elle légitime la **PEDAGOGIE ACTIVE**, dans laquelle l'acquisition des connaissances résulte d'un « processus d'élaboration active de sa pensée » face à un problème d'adaptation à son environnement. En outre, le rôle de la motivation y est essentiel, dans la mesure où le progrès ne naît que dans la confrontation à l'inconnu sous-tendue par un intérêt du sujet.

Un autre aspect essentiel de la psychologie de l'enfant pour Piaget est son *égocentrisme*, c'est-à-dire l'incapacité à adopter la perspective d'autrui et à « séparer le champ du subjectif de celui de l'objectif » (Crahay, 2010). Le rôle de l'éducation, pour Piaget, est donc d'aider l'enfant à « se décentrer » en le confrontant à la réalité d'autrui. L'éducation, à ce titre, est fondamentalement sociale et interactionnelle (principe que le socio-constructivisme de Vygotski a placé au centre de son discours théorique).

Ces différents aspects font du constructivisme piagétien un dépassement du clivage entre innéisme et empirisme. Dans ce modèle, enseigner, c'est « organiser les expériences qui amènent l'apprenant à restructurer ou à remodeler son savoir intuitif » (Crahay, 2010).

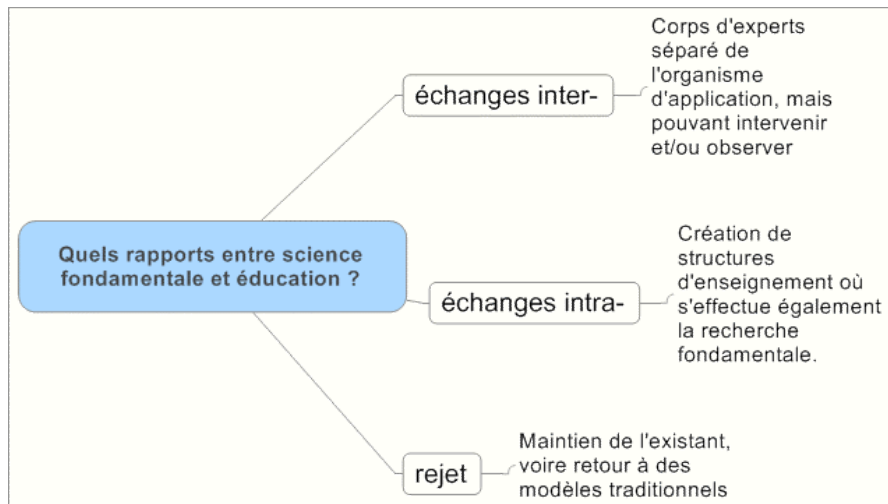
### ***DES THEORIES DE L'APPRENTISSAGE AUX PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT***

Les liens unissant le constructivisme de Piaget à des applications éducatives sont établis mais peu explicites : ses travaux ont inspiré de façon plus ou moins diffuse les sciences de l'éducation. D'une manière plus générale, on est fondé à se demander si la recherche fondamentale influe sur les pratiques d'enseignement et, si oui, à quel degré et comment.

Il faut d'abord constater que peu de réformes récentes sont explicitement rattachées à des modèles théoriques précis : il s'agit plutôt d'emprunts épars, décontextualisés et motivés par des choix politiques, par l'influence de valeurs et de convictions. On l'a vu plus haut pour Freinet, ou Piaget, auxquels certains concepts ou pratiques étaient simplement empruntés pour être intégrés à l'enseignement de masse.

Cela étant, de nombreux pays, y compris la France (dans une moindre mesure), invitent des collègues de spécialistes à dresser des états des lieux de l'institution scolaire, souvent dans le but de lancer par la suite des réformes éducatives : si le rapport Bentolila *et al.* (2006) sur l'enseignement de la grammaire paraît modeste face à d'autres grands programmes d'expertise, il n'en est pas moins produit par un universitaire reconnu dans sa spécialité, et il a eu un impact réel sur la réforme qui l'a suivi.

Mais ce rapport illustre surtout un aspect négatif du recours aux experts, car il dissimulait une action de « police pédagogique » : très critique vis-à-vis des précédentes réformes soutenues par les sciences de l'éducation, dénoncées comme des dérives « pédagogistes », le rapport appelait à rétablir un enseignement marqué par un fort ancrage traditionnel, fondé sur des objectifs très concrets (maîtrise des « fondamentaux » que sont le calcul et l'écriture).



Une meilleure façon d'envisager les rapports entre recherche en éducation et enseignement consisterait sans doute à abolir la frontière matérielle et institutionnelle qui les sépare, par exemple en implantant les structures de recherche spécialisées dans les écoles. Cette initiative n'est pas totalement nouvelle, mais elle n'a pas fait l'objet de mise en place récente. Elle serait porteuse d'un bénéfice pour les deux parties : les sciences pourraient observer certains faits en contexte, et l'éducation bénéficierait de théories ancrées sur la réalité de ses problématiques.

## II. Sciences cognitives et enseignement

Si l'on considère à présent le champ des sciences cognitives, la même question se pose : que peuvent apporter les sciences cognitives (SC) à l'éducation, et comment ?

### PRESENTATION

Plusieurs interrogations sont à examiner au préalable :

- Que recouvre l'appellation de « sciences cognitives » ?
- Quelle peut être la nature de la contribution des SC ?

### *LE CHAMP DES SCIENCES COGNITIVES*

Le pluriel de l'appellation « sciences cognitives » est légitime. Si l'on peut définir globalement les SC comme l'étude des « mécanismes et lois de la vie mentale » (Andler, 2008, p.30), celles-ci articulent des disciplines qui partagent des postulats fondamentaux (ce que traduit l'adjectif « cognitives »), mais qui diffèrent dans leur démarche et leur objet, à savoir :

- Intelligence artificielle (IA)
- Psychologie cognitive
- Neurosciences (et neuropsychologie) cognitives
- Linguistique cognitive
- Philosophie de l'esprit
- Anthropologie/sociologie cognitives (et évolutionnistes)

D'une manière générale, donc, les sciences cognitives abordent la manière dont un dispositif (esprit, cerveau ou machine) traite différentes sortes d'informations (Sperber & Hirschfeld, 1999). Cela implique la capacité à recevoir ces informations, à les acquérir, et à les utiliser pour raisonner et/ou agir, voire les transmettre. Avec l'entrée récente de l'anthropologie dans le paradigme, l'investigation s'étend de l'agent isolé au niveau de l'espèce et du groupe social.

Jusqu'aux années 1970, c'est l'intelligence artificielle qui constituait le centre de gravité du cognitivisme (dit « computationnel »), et qui lui transmettait son épistémologie et son outillage conceptuel. À partir du milieu des années 1980, il semble que ce soit la psychologie qui occupe cette place, communiquant activement avec le reste du paradigme (à l'exception, peut-être de l'IA, désormais en retrait), tandis que les neurosciences en constituent l'indispensable interface empirique. Enfin, une dernière évolution semble s'être engagée avec l'entrée dans la galaxie cognitiviste de disciplines axées sur les systèmes, le contexte et l'interaction (cognition « située » ou *embodied*, anthropologie, évolutionnisme, sociologie...). Avec ces récents changements, le cognitivisme embrasse la *complexité* et perd de vue, semble-t-il, son matérialisme neuronal.

Si les SC existent en tant que telles depuis un temps relativement long (plus d'un demi-siècle, ce qui, au rythme actuel du progrès humain, est considérable), leur récente reconfiguration appelle à se poser de nouvelles questions, ou à s'en poser derechef de plus anciennes. Car les avancées accomplies dans le domaine des neurosciences, et en particulier dans l'imagerie

cérébrale, ont permis d'apporter des éclairages inédits sur de nombreux phénomènes peu, pas ou mal expliqués jusqu'alors. Les neurosciences ont d'abord permis d'ouvrir la « boîte noire » des behavioristes en reliant à l'activité du cortex (entre autres) la construction des représentations mentales, la survenance des émotions, ou de certaines fonctions supérieures, etc. Avec l'apparition de nouveaux outils (électroencéphalographie, imagerie à résonance magnétique, tomographie par émission de positons, étude des potentiels électriques, etc.), les neurosciences ont certes permis d'entamer une sorte de cartographie fonctionnelle du système nerveux central, mais surtout d'observer celui-ci en fonctionnement durant des tâches de reconnaissance visuelle, de lecture, de nomination, etc.

### ***RAPPORTS AVEC L'EXISTANT***

Pour diverses qu'elles paraissent aujourd'hui, les SC n'en sont pas moins porteuses d'une révolution scientifique qui gagne progressivement de nouveaux champs de connaissance.

Le rapprochement entre les SC et l'enseignement a déjà fait l'objet de programmes de recherche, comme en France, le projet « École et sciences cognitives », lancé en 2000 et encadré par M. Fayol. Mais, avec une avance très nette, le Danemark a mis en place le LLD (*Learning Lab Denmark*<sup>5</sup>), l'université de Harvard propose déjà à ses étudiants un master transdisciplinaire sur la convergence SC-éducation (intitulé *Mind, Brain, and Education*), tandis que l'université de Cambridge a créé depuis 2005 un *Centre for Neuroscience in Education*. D'autres initiatives ont une envergure internationale, et non spécifiquement universitaire : le collectif *Learning & the Brain*<sup>6</sup>, le réseau IMBES (*International Mind, Brain & Education Society*) ou encore le CERI (Centre pour la recherche et l'innovation dans l'enseignement), *think tank* de l'OCDE.

Le « retard » français, s'il est réel, doit sans doute s'expliquer en partie par une configuration spécifique des institutions dédiées à la réflexion pédagogique et à la formation des enseignants, mais aussi par une difficulté ou une réticence à franchir le seuil de l'applicabilité, qui rappelle l'avortement du plan Langevin-Wallon, première initiative française en la matière dans l'immédiat après-guerre. Aussi faut-il déterminer dans quelle mesure les SC sont susceptibles de collaborer avec les sciences de l'éducation, et sous quelle forme elles peuvent le faire.

Du point de vue du prospectiviste, si l'on neutralise de façon purement spéculative le facteur NTIC, qui est fortement impliqué dans la problématique de l'enseignement, trois scénarios semblent envisageables à court ou moyen terme.

- Soit les sciences cognitives colonisent, voire vampirisent les sciences de l'éducation. Le poids du paradigme cognitiviste et sa présence écrasante dans tous les programmes de recherches financés aujourd'hui n'excluent pas radicalement une telle possibilité.
- Soit des frontières infranchissables séparent les avancées des sciences fondamentales sur le cerveau et celles des sciences de l'éducation, qui subsisteraient alors en tant que sciences appliquées conservant leur mode d'observation des faits et « résistant » aux apports théoriques des SC.

---

<sup>5</sup> <http://www.dpu.dk/en/departmentsbefore082008/learninglabdenmark/> (Université d'Aarhus).

<sup>6</sup> <http://www.learningandthebrain.com/>

- Soit enfin, et c'est évidemment le plus souhaitable, un nouveau champ disciplinaire se crée, une science de l'apprentissage ou une « neuropédagogie cognitive » (Houdé, 2006), qui permet des fécondations croisées (voir le projet PREA 2K30). Une version pessimiste de cette hypothèse verrait se développer en parallèle avec les sciences de l'éducation *mainstream* une version cognitiviste de la même discipline.

Pour D. Andler (2008), le rapport entre enseignement et sciences cognitives est analogue à celui qui existe entre biologie et médecine, et tout aussi problématique : la première apporte à la seconde une scientificité et une assise empirique liée à l'observation de faits précis et mathématisables.

Dans le cas de l'éducation, cependant, un tel apport peut être conçu tantôt comme une rationalisation scientifique malvenue (qu'on pense au « réductionnisme neuronal » imputé à J.-P. Changeux), tantôt au contraire comme un étayage souhaitable pour des modèles parfois construits sur des inductions hasardeuses, des emprunts peu contrôlés ou des théories naïves (au sens de « spontanées » et « non spécialisées »). Face à la progression des SC, il se peut très bien qu'un « verrou » se mette en place pour garantir la spécificité (voire la survie) des sciences de l'éducation en tant que discipline et constituant de l'institution universitaire.

### ***DEGRES ET MODALITES D'IMPLICATION***

Comme le montre encore D. Andler (2008), les sciences cognitives peuvent contribuer de plusieurs manières à la réflexion sur l'enseignement.

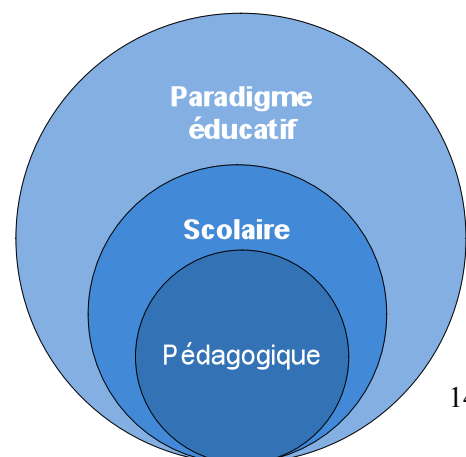
- En apportant des *faits*, c'est-à-dire des connaissances permettant de réformer, de développer ou d'améliorer certains aspects de l'existant ;
- En apportant un *bagage conceptuel et terminologique* qui ouvre des perspectives de réflexion dans le domaine de l'éducation ;
- En proposant une *méthodologie* (notamment expérimentale) dont peut s'inspirer la recherche dans ce même domaine.

Par ailleurs, ce que les sciences de l'éducation retiendront de cet apport détermine un degré « d'implication » des SC, qui peut varier du simple emprunt conceptuel à la reprise de pans théoriques et méthodologiques beaucoup plus larges (au risque d'une absorption ou d'un morcellement des sciences de l'éducation, on l'a vu).

### ***SITES D'IMPLICATION***

Les SC peuvent agir à des niveaux plus ou moins élevés du processus d'enseignement (Eastes & Pellaud, 2008), ce qui joue nécessairement sur la complexité et le coût des échanges interdisciplinaires.

- Au niveau du **PARADIGME EDUCATIF**, qui concerne la place de l'école et de l'éducation dans la société ; par exemple en proposant de développer l'*apprentissage tout au long de la vie* (voir *infra*).



- Au niveau du **PARADIGME SCOLAIRE**, qui concerne l'enseignement à l'école, les disciplines qui y sont enseignées et la formation des différents acteurs qui y interviennent ; par exemple, en remettant en question la *division systématique en classes d'âge égal*, qui n'est fondée que pour certains apprentissages.
- Au niveau du **PARADIGME PEDAGOGIQUE**, qui concerne les méthodes, les programmes, et le rôle des acteurs intervenant à l'école ; par exemple en *imposant une pédagogie active fondée sur la motivation*.

## **PRINCIPES D'UNE NEUROPEDAGOGIE COGNITIVE**

Une science de l'apprentissage doit s'appuyer sur quelques **PRINCIPES GENERAUX** (Bransford, Brown & Cocking, 1999 ; Andler, 2008 ; Christophe, 2008) formulés à partir de travaux neuroscientifiques à fondement empirique. Ces principes touchent à des aspects différents de la structure d'enseignement.

### **A. DEFINITION DES PROCESSUS ET MODALITES D'APPRENTISSAGE**

1. **PRENDRE EN COMPTE LES PRE-CONCEPTIONS DES APPRENANTS** (et travailler à partir d'elles). Les rapports d'un groupe d'experts constitué par le gouvernement américain (dans Bransford, Brown & Cocking, 1999) ont mis en évidence le fait que les sujets développaient spontanément des théories naïves à propos de ce qui les entourent. Cela peut sembler un truisme, tant il est naturel d'interpréter et de catégoriser mentalement ce que l'on voit, mais il n'en est pas moins vrai que l'enseignement tend généralement à considérer les élèves comme des « ardoises vierges ». Or, les théories naïves (*folk theories*) atteignent parfois un degré de complexité important et sont susceptibles de jouer un rôle important dans le succès d'un apprentissage. C'est ainsi que le bébé développe très tôt une proto-conception naturelle des nombres (Ferigenson, Dehaene & Spelke, 2004), et que l'enfant construit spontanément une physique et une linguistique naïves<sup>7</sup>. Ces proto-théories et les concepts intuitifs qu'elles manipulent sont en grande partie inconscients, étant utilisés pour la catégorisation de l'environnement, mais ont à ce titre une grande importance. L'enseignant se doit de les prendre en compte dans sa démarche pour chercher à les réformer ou s'en servir, et non les ignorer ou tenter de les éradiquer<sup>8</sup>.
  
2. Prendre en compte **L'IMPORTANT DE L'EMOTION** (positive et négative) dans l'éducation. L'impact des émotions dans le processus d'apprentissage est une intuition ancienne, récemment étayée par différentes expérimentations scientifiques. Les travaux de Pavlov (1927) ont montré comment une tâche précise pouvait être associée à un stimulus négatif : transposé dans un cadre scolaire, on voit qu'il suffit de se sentir humilié par un échec en mathématiques pour associer cette matière à des émotions

---

<sup>7</sup> Culioli parle d'activité *épilinguistique* pour désigner cette réflexion du sujet parlant non spécialiste sur sa propre langue.

<sup>8</sup> La didactique des langues étrangères a intégré depuis longtemps ces aspects dans ses modèles d'apprentissage des langues secondes (avec la notion *d'interlangue*, entre autres, qui désigne une représentation spontanée de la langue-cible par l'apprenant).

négatives et pour que son apprentissage soit affecté négativement. L'idéal est donc d'associer l'apprentissage à des émotions positives (jeux, récompenses) pour en améliorer l'efficacité. Les émotions agissent également dans un autre domaine, la régulation du *stress*. Si une faible dose de *stress* accroît temporairement les performances physiques et cognitives (grâce au cortisol, une hormone sécrétée notamment en situation de *stress*), une dose trop élevée nuit à la mémoire et à l'apprentissage (entraînant même des déficits cognitifs en cas de surdose prolongée). On sait que bon nombre d'échecs aux concours et examens sont liés à une gestion inefficace ou nulle du *stress*, mais certaines situations d'apprentissage, si elles sont perçues comme un enjeu, peuvent engendrer des manifestations similaires. Dès lors, il ne s'agit pas simplement de créer un climat favorable à l'apprentissage en limitant les sources d'émotions négatives (ce qui serait déjà beaucoup, car cela supposerait de revoir les modes de rétribution et de notation). Il faut également intégrer à la formation scolaire une pratique de l'**AUTO-REGULATION EMOTIONNELLE**, bénéfique non seulement pour l'élève, mais aussi pour le citoyen. Des études récentes ont en effet montré que la capacité à réguler ses émotions prédisait une meilleure réussite scolaire et même sociale (Carlton & Winsler, 1999 *apud* Butterworth, 2007).

3. Directement corrélée aux émotions, et jouant un rôle capital dans le succès des apprentissages, la **MOTIVATION** est l'objet de nombreuses études de psychologie de l'éducation. Définie grossièrement comme une cause qui détermine à agir d'une manière ou une autre<sup>9</sup>, elle peut être positive (recherche d'un plaisir) ou négative (évitement d'une souffrance). Mais on distingue surtout la motivation **EXTRINSEQUE**, qui est extérieure au sujet (récompense, pression sociale, etc.), et la motivation **INTRINSEQUE**, dans le cas de laquelle l'accomplissement de la tâche suscite un plaisir suffisant à sa propre motivation (Deci & Ryan, 2000). Le cadre scolaire *mainstream* est clairement construit autour de la motivation extrinsèque : les notes, les appréciations qualitatives, les punitions, autrefois les bons points et les prix de rhétorique sont autant de motifs externes pour agir en vue d'un certain but... Ou pas : à l'issue d'échecs ou de sanctions répétés, générateurs d'émotions négatives et d'une dévaluation de l'image de soi et de ses aptitudes, l'apprenant peut développer un *sentiment d'incapacité acquis* (Seligman, *apud* Crahay, 2010), c'est-à-dire une résignation face à la souffrance engendrée par l'échec (qui peut aller jusqu'à la recherche rassurante de l'échec attendu). Il faut donc, autant que possible, ménager l'estime de soi des apprenants en n'imputant pas leurs échecs à un défaut d'aptitude (*cause interne stable et incontrôlable*, cf. tableau 1) mais en tentant de mettre l'accent sur des causes qu'ils peuvent modifier (Dweck, 1989).

---

<sup>9</sup> Plus précisément, en contexte scolaire, c'est « un état dynamique qui a ses origines dans les perceptions qu'un élève a de lui-même et son environnement et qui l'incite à choisir une activité, à s'y engager et persévérer dans son accomplissement afin d'atteindre un but » (Viau, *apud* Crahay, 2010).

**Tableau 1 : Motivation interne et externe**

MOTIVATION INTERNE			
Stable		Instable	
CONTROLABLE <i>Stratégies d'apprentissage</i>	NON CONTROLABLE <i>Aptitudes intellectuelles</i>	CONTROLABLE <i>Effort</i>	NON CONTROLABLE <i>Maladie</i>
MOTIVATION EXTERNE			
Stable		Instable	
CONTROLABLE <i>Séances de remédiation à l'école</i>	NON CONTROLABLE <i>Difficulté de l'épreuve</i>	CONTROLABLE <i>Perceptions de l'enseignant</i>	NON CONTROLABLE <i>Humeur de l'enseignant</i>

Source : Crahay, 2010

Les travaux de M. Csikszentmihalyi (2008) offrent sur la question de la motivation une approche intéressante par l'introduction du FLOW, terme qui désigne l'état de motivation et de concentration optimales qu'atteignent parfois les sujets engagés dans une tâche qui les absorbe tout entiers et qui requiert toute leur compétence. Le caractère séduisant de la théorie de Csikszentmihalyi tient à la définition de la motivation par le croisement de deux données : la compétence du sujet et la difficulté de la tâche (figure 4). On peut établir un parallèle entre cette théorie et la notion de « zone proximale » chez Vygotski.

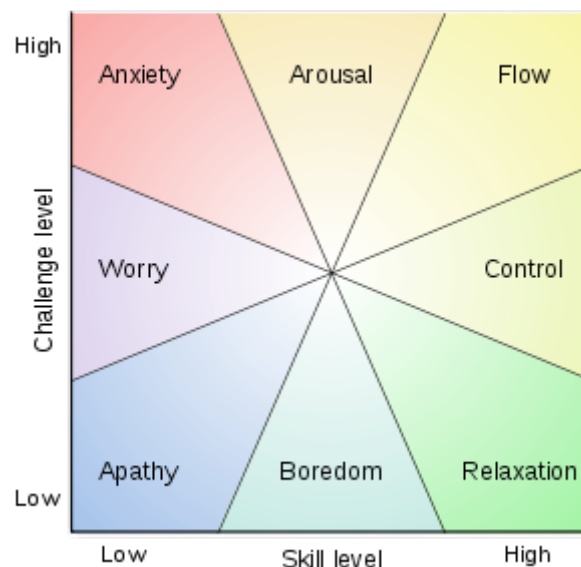


FIGURE 4 - LE "FLOW" (CSIKSZENTMIHALYI, 2008)

D'une manière générale, la question de la motivation invite d'une part à privilégier l'évaluation formative<sup>10</sup> (voir ci-dessous), qui confère aux étudiants une autonomie valorisante, et elle implique d'autre part de revoir ou abandonner les conceptions traditionnelles de l'intelligence fondées sur le *G factor* ou sur le QI, dont les tests ne mesurent, selon certains, que la faculté à réussir des tests de QI<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> Cf. l'étude de Ryan & Deci (2000), souvent citée.

<sup>11</sup> Le débat sur la mesurabilité des facultés mentales n'est pas nouveau (voir Gould (1996) pour une critique radicale des tests psychologiques, notamment du QI). L'étude récente de Duckworth (2011) montre d'autre part – ce qui n'est finalement guère surprenant – que les tests de QI ne reflètent pas

4. Intégrer l'apprentissage dans un réseau d'**INTERACTIONS SOCIALES**. Les neurosciences ont étayé les principes intuitifs de Vigotsky (voir *supra*) et font de l'échange interpersonnel un « catalyseur de l'apprentissage » (Enlart & Charbonnier, 2010). Cela ne signifie pas que l'on maintient un modèle magistro-centriste fondé sur la transmission du savoir, mais simplement que la médiation d'un humain (professeur, tuteur, « guide » ou même pair) est essentielle dans la mesure où elle permet la circulation de l'information, c'est-à-dire sa discussion, sa glose, etc.
5. Prendre spécifiquement en compte **LE CADRE D'APPRENTISSAGE PLUTOT QUE L'APPRENANT**. Le débat millénaire sur l'*innéisme* de certaines facultés est loin d'avoir été résolu par les sciences cognitives<sup>12</sup>. Toutefois, celles-ci ont permis de mettre en évidence le fait que l'homme était un « mélange » de nature et de culture. S'il dispose d'un potentiel d'origine génétique et de quelques facultés innées, comme celle d'apprendre ou de développer le langage (Pinker, 2008), c'est la stimulation de son environnement puis l'interaction avec celui-ci qui « câble » le cerveau et développe au fil du temps des connexions neuronales par et pour l'accomplissement de certaines tâches (théorie de l'**EPIGENESE**, illustrée notamment par les travaux de Changeux), tandis qu'il perd progressivement les connexions qui ne sont pas utilisées (processus d'*élagage*). Mais cette notion d'*environnement* dépasse largement le seul cadre des stimuli : « la façon dont on nourrit et traite le cerveau joue un rôle crucial dans le processus d'apprentissage » (Butterworth, 2007), qu'il s'agisse d'alimentation, de sommeil, de relations sociales, etc. Cette importance du contexte constitue bien sûr un argument fort pour une **PEDAGOGIE DIFFERENCIEE**, voire adaptée à certains apprenants présentant des caractéristiques particulières. Elle va en tout cas à l'encontre de l'idée d'une « intelligence » unique, déterminant à elle seule la réussite ou l'échec scolaire<sup>13</sup>.
6. Explorer, développer (et valoriser ?) de **NOUVEAUX MODES D'ACQUISITION DES CONNAISSANCES**. Le modèle d'enseignement traditionnel livre aux apprenants des savoirs préstructurés. Mais on a vu que Freinet, par exemple, proposait plutôt de laisser les élèves tâtonner pour construire leur propre savoir, comme le préconise d'ailleurs la pédagogie active. Or, il s'avère que la société moderne facilite largement ce type de pratiques, mais qu'elle les condamne dans le même temps, en particulier chez les enfants : abreuvés par un flux continu d'informations qui alimente une **INFOBESITE** exponentielle, les hommes et enfants modernes sont constamment

---

« l'intelligence » des candidats mais d'abord leur *motivation*. En tant que tels, ils ont bien une valeur prédictive, mais ne reflètent pas de pures capacités cognitives. C'est ainsi que les sujets réussissant les tests de QI tendront à mieux réussir socialement, à éviter les actes criminels, etc., mais parce qu'ils sont plus motivés et non parce qu'ils sont plus « intelligents ».

<sup>12</sup> Les discussions se poursuivent encore par articles interposés entre N. Chomsky & T. Fitch d'une part, tenants d'un certain innéisme, et S. Pinker & R. Jackendoff d'autre part. Voir la synthèse de Fortis (2009).

<sup>13</sup> Voir les travaux bien connus d'Howard Gardner sur les différents types d'intelligence.

distracts<sup>14</sup> de toute investigation approfondie : ils butinent des fragments de texte et des suites d'image au gré de l'hypertexte ou des sollicitations extérieures. Il ne faut certes pas nier que cette hyperstimulation permanente relève en partie de l'addiction et qu'elle peut revêtir un caractère pathogène (voir le trouble du déficit de l'attention/hyperactivité des nosographies modernes, et en particulier le syndrome d'hyperactivité infantile), mais on peut également tenter de l'encadrer et d'en dégager des points positifs.

Tout d'abord, il n'est pas vrai que l'on ne retient rien en « surfant » sur Internet : en premier lieu, le butinage nourrit la **COMPETENCE INFORMATIONNELLE**. Comme toute activité intensive et répétée, en effet, il peut contribuer à modifier l'anatomie de notre cerveau<sup>15</sup>, qui devient peu à peu **EXPERT** dans ce type de tâche. C'est ainsi que certains parviennent à se repérer immédiatement dans une page web, trouvant les liens principaux, les menus, accédant rapidement aux informations essentielles, tandis que d'autres, moins expérimentés, vont s'égarer, perdre du temps et finalement ne pas trouver ce qu'ils cherchent, mais qui est pourtant là. Cette capacité à percevoir en quelques coups d'œil la structure d'un document numérique n'est guère éloignée de celle qui permet la lecture des textes : elle se manifeste par le même type de saccades oculaires, de pauses, et de retours, mais dans un espace bidimensionnel plus vaste. Comme la lecture, elle n'est pas innée, mais acquise, et s'améliore par la pratique. Enlart & Charbonnier (2010) la désignent sous le nom de *scanning*, terme peu heureux, mais qui traduit bien l'empan très large de l'attention au cours de cette activité, qui s'exerce sans objet fixe mais qui glane, en partie inconsciemment, des informations.

Bien évidemment, ériger le *scanning* en processus d'apprentissage explicite suppose d'en mieux connaître les bases neurales et cognitives. S'il est clair qu'il améliore la recherche d'information, le *scanning* n'est pas en soi la garantie d'un apprentissage. Il n'en est que le support éventuel. Mais il semble que l'on ne puisse condamner *a priori* ce qui est en puissance un ressort adaptatif à l'*information overload* de notre société. Cela se justifie d'autant plus que le *scanning* s'inscrit de façon centrale dans un butinage dépourvu de finalité, ouvert au hasard des découvertes. Lorsque ce hasard est heureux et qu'il aboutit à de réelles trouvailles, l'épistémologie moderne le nomme **SERENDIPITE**.

---

<sup>14</sup> C. Doctorow (2009) décrit même notre époque comme un « âge de la distraction », et notre monde connecté comme un « écosystème de technologies d'interruption ».

<sup>15</sup> Cf. l'étude célèbre d'E. Maguire sur les chauffeurs de taxi londoniens, chez qui les zones du cortex dédiées au repérage dans l'espace étaient plus développées que chez la moyenne des sujets. Dans la majorité des cas, toutefois, ce sont simplement les connexions synaptiques qui sont renforcées par une activité répétée, et non le cerveau qui « grossit » par endroits.

## B. DEFINITION DES CONTENUS D'ENSEIGNEMENT

Existe-t-il des enseignements fondamentaux ? Il est indéniable que la **LITTERATIE** (lecture et écriture) et la **NUMERATIE** (savoir compter) sont fondamentales, dans la mesure où elles conditionnent la possibilité même de l'apprentissage. En un sens, la **MAITRISE DES TIC** est désormais tout aussi essentielle.

Qu'en est-il ensuite des savoirs encyclopédiques ? Beaucoup s'accordent à dire que l'accumulation de connaissances déclaratives n'a plus grand sens dans la société de l'information, d'Internet et du *cloud*, qui offre à chacun, et partout, un accès à l'intégralité du savoir. Certains déplorent cet état de fait, y voient même un pas décisif vers le mirage transhumaniste, mais on leur réplique généralement qu'il ne s'agit que d'un second degré d'**EXTERNALISATION DES CONNAISSANCES**, le premier étant l'invention de l'écriture. De ce fait, ce n'est plus l'accumulation de savoir qui doit être valorisée, mais les compétences de gestion de l'information et d'optimisation de l'apprentissage — en somme, on doit apprendre à apprendre. Sur ce point, les neurosciences cognitives ont mis au jour un certain nombre de phénomènes importants et propres à nourrir le socle des apprentissages fondamentaux : l'aptitude à structurer son savoir, la conscience de ses propres processus d'apprentissage, la capacité à agir ou à créer à partir d'informations données, etc. Quelques principes éducatifs peuvent ainsi être dégagés.

1. Fournir aux apprenants des **FAITS** et les **PRINCIPES GENERAUX** régissant un domaine : les connaissances doivent être structurées autour de noyaux de concepts clés, afin de calquer l'organisation de la mémoire humaine. En effet, d'un point de vue fonctionnel <sup>16</sup>, les connaissances déclaratives (*i.e.* explicites, par opposition aux connaissances procédurales, qui sont des automatismes implicites, *cf.* Squire, 1993) sont structurées en réseaux de catégories hiérarchisées (Crahay, 2010) attachées à des concepts. Plus les réseaux sont denses et structurés, plus l'apprentissage est aisé ; le secret de la mnémotechnique est d'ailleurs d'associer les concepts entre eux, autrement dit de créer de nouvelles relations dans la mémoire. L'usage de la cartographie mentale (le *mind mapping*, promu par T. Buzan, notamment, voir figure 5) peut aider les apprenants à structurer leurs connaissances et à guider leur exploration de domaines inconnus. La formation aux **CARTES CONCEPTUELLES** fait désormais partie de nombreux

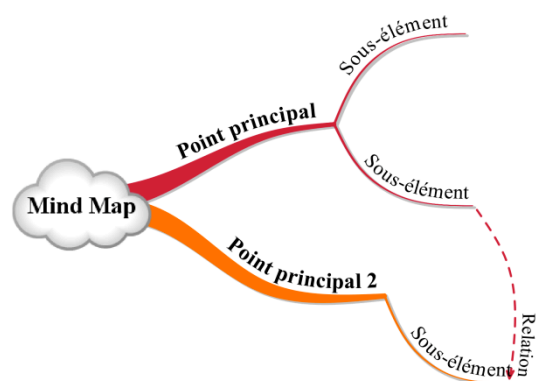


FIGURE 5 - EXEMPLE DE CARTE MENTALE (BUZAN)

<sup>16</sup> Ce qui ne signifie pas qu'un souvenir particulier occupe une zone précise du cortex : il est en réalité distribué dans plusieurs systèmes neuronaux correspondant à ses composants, et ces systèmes sont les mêmes que ceux qui servent à percevoir l'objet du souvenir. En un sens, selon Squire (1999), « la mémoire est la persistance de la perception ».

curseus de communication. Ce type d'outil est réputé permettre la prise en compte des connaissances naïves, voire erronées, de visualiser les cheminements de pensée (et leurs errements), autrement dit la métacognition (voir ci-dessous), de structurer les connaissances, etc. En revanche, il est douteux que l'on parvienne à « muscler » son cerveau par ce biais, comme le prétend T. Buzan. L'inefficacité de la quasi-totalité des exercices de gym cérébrale a d'ailleurs été démontrée par le psychologue A. Lieury...

2. **DEVELOPPER LA METACOGNITION DES APPRENANTS.** La métacognition est « la connaissance que l'on a de ses propres processus cognitifs, de leurs produits et de tout ce qui y touche » (Flavell, 1977). Il s'agit plus simplement « d'opérations mentales exercées sur d'autres opérations mentales » (Noël, 2003) en fonction d'un but concret. Il s'agit semble-t-il d'un des facteurs qui favorisent le plus fortement la qualité de l'apprentissage (Wang *et alii*, 1990) : les travaux de Flavell ont montré que les enfants qui possédaient les stratégies de mémorisation les plus efficaces étaient ceux qui étaient capables de s'exprimer à propos de ces stratégies (Weil-Barais, 1993, p. 445). L'utilité d'un enseignement des méthodes d'apprentissage semble donc largement fondée, mais les études les plus récentes tendent à conclure qu'il ne suffit pas de donner aux apprenants des astuces d'apprentissage, mais qu'il faut plutôt les entraîner à pratiquer régulièrement la métacognition critique pour construire leur propre méthode (figure 6). Pour cela, il semble judicieux de les doter au départ d'un matériel conceptuel simple pour mettre des mots sur leurs perceptions métacognitives.

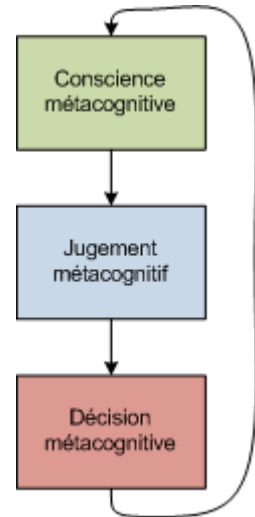


FIGURE 6 - METACOGNITION REGULATRICE (D'AP. NOËL)

3. Intégrer les découvertes des neurosciences à l'enseignement de la **LECTURE** et des **MATHEMATIQUES**. Les travaux de Dehaene (2007, 2010), notamment, ont montré comment des connaissances précises des mécanismes cognitifs en jeu dans le déchiffrage de textes écrits et la numération pouvaient servir utilement l'apprentissage de la lecture et de l'arithmétique.
  - Dans le premier cas, on sait désormais que le cerveau déchiffre en s'appuyant à la fois sur la forme visuelle des mots et sur leur décodage phonologique silencieux. Cela discrédite toute méthode fondée uniquement sur le premier *modus* (comme la tristement célèbre « méthode globale »). On sait également que les langues diffèrent dans leur recours à l'un ou l'autre mode de déchiffrage : les langues dites « transparentes », comme l'italien, dont l'orthographe reflètent la prononciation, font un usage plus modéré du décodage visuel (et donc des zones cérébrales qui y correspondent), au contraire de langues écrites comme l'anglais, dites « opaques ». Cela invite à concevoir des méthodologies adaptées à chacune des langues en tenant compte de leur degré de transparence orthographique. Enfin, on connaît aujourd'hui bien mieux la nature des troubles dyslexiques, que l'on diagnostiquait autrefois hâtivement dès qu'un enfant éprouvait des difficultés dans l'apprentissage de

la lecture. Il s'avère en effet que la dyslexie, bien qu'elle soit multiforme, relève souvent d'un trouble phonologique ayant une base neurale, et qu'elle peut être traitée par des méthodes adaptées.

- Pour les mathématiques, la découverte de capacités de numération innées chez les bébés (Dehaen, 2010 *inter alia*) doit être exploitée dans l'enseignement primaire, qu'il s'agisse de la conscience rudimentaire des quantités ou d'opérations arithmétiques simples. De même, la corrélation des aptitudes mathématiques et de la représentation de l'espace (Dehaene, 2010) est susceptible de servir de base à des exploitations pédagogiques plus concrètes que celles qui sont couramment mises en œuvre en classe. En dernier lieu, on explore dorénavant la dyscalculie sur des bases similaires à celles qui caractérisent la dyslexie, c'est-à-dire en examinant de possibles causes neurales.

Ces quelques suggestions sont largement à compléter. Il semble certes urgent de mettre en avant la capacité à traiter efficacement les informations, à les organiser mentalement et surtout à se débarrasser des moins pertinentes<sup>17</sup>, mais cela ne signifie pas qu'il faille abandonner tout exercice critique ou toute analyse. La (dé-)construction d'un raisonnement, la critique approfondie d'une pensée, la réflexion historique demeurent bien sûr des compétences capitales à enseigner à l'école, mais sans doute s'agit-il de les envisager d'abord comme des savoir-faire et non, comme l'a longtemps prôné le modèle humaniste, comme des activités secondaires attachées à un canon de textes et à un ensemble de connaissances déclaratives à assimiler.

### ***C. LE PARADIGME EDUCATIF : STRUCTURATION DU PARCOURS ACADEMIQUE***

En dernier lieu, la neuropédagogie cognitive pourrait intervenir à un niveau plus large, dans la définition du paradigme éducatif et du paradigme scolaire. La définition des rythmes d'enseignement, des *curricula*, des évaluations, enfin la structure même de l'école sont des domaines que les découvertes récentes sont aptes à modifier utilement.

1. **L'APPRENTISSAGE TOUT AU LONG DE LA VIE.** On a longtemps admis et propagé l'idée que le cerveau se dégradait à partir de 30 ans, perdant irrémédiablement des neurones qu'il ne remplaçait plus<sup>18</sup>. Si la synaptogénèse est bien plus importante durant l'enfance, non seulement on a constaté que l'hippocampe<sup>19</sup> développait de nouveaux neurones tout au long de la vie, mais aussi, et surtout, on a montré depuis une

---

<sup>17</sup> Sauf à suivre les « prophéties de la Singularité », les capacités de stockage de l'humanité paraissent trop modestes aujourd'hui pour espérer stocker toutes les informations qui seront produites dans les prochaines décennies, aussi est-il possible qu'un des futurs grands chantiers des sciences de l'information soit la détermination de ce qu'il faut *jeter* dans notre stock informationnel.

<sup>18</sup> Un autre mythe corrélé à ce dernier est celui qui veut que « tout se joue avant trois ans ». Sur ce point, voir Bruer (2000).

<sup>19</sup> « Cerveau des émotions », dont les fonctions les mieux identifiées sont relatives à la mémoire et à l'orientation spatiale.

vingtaine d'années que la **PLASTICITE** du cerveau se maintenait jusqu'à la mort : cette notion de *plasticité* désigne la capacité (parfois spectaculaire) du cerveau à se reconfigurer d'un point de vue fonctionnel en réponse aux stimulations de l'environnement. Or, c'est là une des définitions neurologiques de l'apprentissage (Koizumi, 2003). Il en ressort donc qu'il est possible d'apprendre tout au long de la vie, même si cela passe par des méthodes qui diffèrent de celles de l'acquisition précoce propre à l'enfance et relèvent en quelque sorte d'un « recyclage neuronal » (Dehaene) de l'existant.

2. Faire usage d'**EVALUATION FORMATIVE**. Tout le système de l'école actuelle est centré sur les performances aux tests d'**EVALUATION SOMMATIVE** des acquis. Aussi le « progrès » du système scolaire est-il spontanément assimilé à une multiplication des évaluations, et à une hausse d'exigence de leurs critères – principe d'autant plus suspect que le niveau des élèves semble monter sans cesse si l'on en croit les chiffres (effet Flynn), mais chuter constamment si l'on écoute les enseignants... Ce fonctionnement propre aux modèles magistro-centristes doit être abandonné au profit d'une **EVALUATION FORMATIVE**, dont les résultats sont bien meilleurs (OCDE, 2005). Ses caractéristiques essentielles sont :

- bâtir la culture scolaire sur la valorisation de l'apprentissage et non sur la performance ;
- proposer des processus d'apprentissages explicites qui permettent de développer la métacognition ;
- avoir en vue d'identifier les besoins des apprenants et d'y adapter l'enseignement de façon dynamique ;
- utiliser des supports d'évaluation variés : journaux, portfolios, exposés... ;
- définir des objectifs d'apprentissage précis pour chacun ;
- diversifier les méthodes employées ;
- impliquer les étudiants dans le processus d'apprentissage.

Il s'avère en définitive que le principe de l'évaluation formative rejoint certains aspects de la pédagogie du « tâtonnement expérimental » de Freinet ou encore l'idée de « détour » mise en œuvre dans les pédagogies de projet. Dans tous les cas, son impact émotionnel est bien plus positif que celui de l'évaluation sanction qui est couramment pratiquée.

3. Doter les **ENSEIGNANTS** d'une **CONNAISSANCE DES BASES NEURALES DE L'APPRENTISSAGE**. Il n'est pas question d'exiger de tout formateur un bagage spécialisé en neurosciences mais, dans un premier temps du moins, de dissiper quelques « neuromythes » qui ne manquent pas d'influer sur les conceptions et les pratiques pédagogiques des enseignants. Par exemple :

- la typologie fallacieuse entre les sujets rationnels et analytiques (chez qui domine le cerveau gauche) et les sujets émotifs ou intuitifs (dont le cerveau droit est dominant) ;

- l'idée qu'il existe un cerveau féminin et un cerveau masculin dont les aptitudes diffèrent radicalement, ce que l'on peut déduire hâtivement des disparités constatées entre garçons et filles dans les résultats scolaires. Les études PISA <sup>20</sup> montrent en effet que les garçons réussissent mieux en mathématiques, et les filles en lecture, mais il n'y a pas matière à envisager une spécialisation sexuelle de l'enseignement...
  - l'apprentissage des langues est à soi seul une source de mythes tenaces, parmi lesquels le seul à conserver quelque vérité est : plus l'apprentissage d'une seconde langue a lieu tôt, plus il est efficace.
4. L'épigénèse du cerveau connaît des « **PERIODES SENSIBLES** », ou « **FENETRES D'OPPORTUNITE** », dont il faut tenir compte dans l'apprentissage. Il faut comprendre par là que, dans le développement de l'individu, certains gènes ne s'expriment que s'ils reçoivent au bon moment les stimuli qu'ils « attendent ». C'est ainsi que l'on oppose l'apprentissage du langage oral, qui connaît une période sensible (dans les dix premiers mois de la vie), à l'apprentissage du langage écrit, qui peut s'effectuer à tout moment dans l'existence. Le cas des enfants sauvages, qui ne parviennent jamais à une parfaite maîtrise du langage parce qu'ils n'ont pas été exposés aux stimuli idoines au bon moment, est censé étayer cette hypothèse. Pour ce qui est des apprentissages scolaires, les fenêtres d'opportunité concernent principalement les langues étrangères : on sait désormais (Neville & Bruer, 2001) que l'acquisition de la grammaire d'une seconde langue se fait naturellement entre un an et trois ans, c'est-à-dire sur le même mode que celle de la langue maternelle (avec l'hémisphère gauche uniquement). Passé ce moment, le cerveau met en œuvre des stratégies différentes, de plus en plus complexes et coûteuses au fil des années. Il en va de même pour l'acquisition de l'accent d'une langue seconde, qui est bien meilleure avant 12 ans. Il est bien sûr possible d'apprendre des langues à tout âge, mais les facilités de la petite enfance sont irrémédiablement perdues ; autant dire que les cursus qui retardent jusqu'à l'adolescence le contact avec les langues étrangères sont contre-productifs. Il faut cependant mettre en place une méthode d'apprentissage adaptée aux jeunes apprenants et ne pas se contenter d'une transposition des cours pour adultes.

---

<sup>20</sup> <http://www.pisa.oecd.org/>

## Synthèse : Vers la « neuropédagogie cognitive<sup>21</sup> » ?

On a évoqué plus haut trois scénarios possibles, que nous reprenons ci-dessous avec quelques modifications, et qui sont conditionnés par trois facteurs associés à des progrès scientifiques et technologiques.

- **FACTEUR 1 : LES TIC, L'IRRUPTION DE L'INFORMATION DANS L'ECOLE ET LE STATUT CONSECUTIF DU SAVOIR.** Les institutions scolaires ne sont plus le lieu fermé où un maître dispense un savoir préstructuré à des élèves attentifs. Deux aspects sont à prendre en compte.
  - **ÉVOLUTION DU PUBLIC :** hyperstimulés en permanence par divers moyens de communication, les apprenants de la « génération Google » et des suivantes seront de plus en plus « câblés » pour le multitâche et de moins en moins pour la concentration monotâche. Il ne s'agit pas d'évolution au sens génétique, mais simplement d'une modification épigénétique liée à l'environnement technologique des enfants d'aujourd'hui et de demain, qui produit chez ces derniers une configuration fonctionnelle adaptée à leur milieu. Il semble donc futile de porter un jugement moral sur cet état de fait et de chercher à le contrecarrer par des mesures coercitives inapplicables. Mieux vaut, donc, anticiper le changement et l'accompagner avec discernement.
  - **L'ECOLE COMME ESPACE CLOS :** l'accès nomade à la connaissance, sa disponibilité immédiate et son évolution *online* dévaluent largement la thésaurisation individuelle, remettent en question le statut du « maître », et enfin remettent en question la légitimité de la classe comme lieu d'activité délimité dans l'espace et le temps. Ce modèle scolastique, dans sa configuration magistro-centriste, se trouve devenu obsolète. On constate une timide prise de conscience de cette évolution dans les pays du G8<sup>22</sup>.
  
- **FACTEUR 2 : LES PRINCIPES DE L'EDUCATION ET LE MACRO-CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE :** la conception de l'école comme un lieu clos, subdivisé en classes d'âge, préparant à affronter une vie d'adulte en dotant l'enfant de savoirs et de savoir-faire monnayables ensuite dans le monde du travail est elle-même contestable. Pour Ken Robinson, défenseur influent des réformes éducatives dans le domaine anglo-saxon, la conception courante de la scolarité est obsolète car elle est issue du contexte de la deuxième Révolution industrielle, dans lequel l'éducation était déterminée par des besoins immédiats et précis en termes d'emploi et de formation. Or, non seulement le marché du travail n'a plus grand-chose de commun avec ce qu'il était alors, mais K. Robinson va plus loin en dénonçant le principe même d'une éducation à rebours qui, tel une chaîne de production (c'est sa métaphore), guide et impose la formation à

---

<sup>21</sup> Houdé, 2006

<sup>22</sup> En France, les espaces numériques de travail (ENT) sont en déploiement au lycée dans 19 académies sur 30, et au collège dans une cinquantaine de départements (avril 2011, source : DGESCO 3-4). On rencontre une initiative similaire de l'université de Floride (<http://www.flvs.net/>), qui a mis en place des « laboratoires d'apprentissage électronique » dans lesquels les élèves et étudiants sont seuls face à des machines sous la supervision d'un assistant (qui n'est pas un professeur).

partir de l'existant plutôt que d'éduquer les élèves comme des agents du changement en favorisant leur créativité. Éduquer doit comporter une part de jeu et de risque, affirme K. Robinson, et le paradigme scolaire actuel repose au contraire sur l'éviction de cette composante.

- **FACTEUR 3 : LES SCIENCES HUMAINES ETENDUES.** Déjà évoqués ci-dessus, les progrès dans la connaissance du cerveau humain et de la pensée sont un facteur de changement décisif. L'appréhension des comportements individuels et collectifs passe désormais par une prise en compte de facteurs neurologiques, et psycho-anthropologiques. Cette « nouvelle grille » gagne l'ensemble des sciences humaines et fédère des domaines jusqu'alors séparés, rendant plus ou moins obsolètes les théories qui ne s'inscrivent pas dans son paradigme. À cet égard, on l'a vu, les modèles pédagogiques expérimentaux du XX<sup>e</sup> siècle et les sciences de l'éducation « traditionnelles » apparaissent désormais comme des ensembles discursifs **PRE-THEORIQUES**.

### *Scénarios*

**SCENARIO 1 (A COURT/MOYEN TERME, ET DEJA ENGAGE EN FRANCE) : RESISTANCE.** Les sciences cognitives et les TIC s'introduisent dans le champ de l'éducation mais se heurtent à l'inertie voire à l'opposition de l'Institution (enseignants, dirigeants, formateurs). L'évolution du public et de ses attentes finit toutefois par dépasser les cadres de l'éducation, qui sont alors contraints de s'adapter en situation de crise.

**SCENARIO 2 (A MOYEN/LONG TERMES) : ADOPTION TIMIDE.** Les paradigmes **EDUCATIF** et **SCOLAIRE** se maintiennent **EN L'ETAT** (écoles, classes, personnel, durée des études) mais constituent le cadre d'innovations pédagogiques inspirées par les sciences cognitives et faisant usage des TIC. Ce sont principalement les programmes, les méthodes pédagogiques et, à la rigueur, les cursus qui sont ainsi rénovés. Sous réserve de convergences disciplinaires rendues possibles ou favorisées par l'institution, la Neuropédagogie cognitive, épaulée par les sciences de l'information ou la *web science*, peut voir le jour mais reste une science théorique, coupée de son champs d'application comme les sciences de l'éducation aujourd'hui.

**SCENARIO 3 (A MOYEN/LONG TERME) : ADOPTION FORTE.** Le paradigme **SCOLAIRE**, voire **EDUCATIF**, est repensé à la lumière des apports convergents des neurosciences et des sciences de l'information. La neuropédagogie cognitive s'intègre aux établissements d'enseignement, prenant une part active dans leur fonctionnement et les envisage également comme des laboratoires d'expérimentation. On met en place des écoles ouvertes (sur le web, mais aussi dans l'espace) et des formations non curriculaires ouvertes à tous les âges.

## Références

- ALTET Marguerite. *Les pédagogies de l'apprentissage*. Paris : Presses universitaires de France, 2006.
- ANDLER Daniel, GUERRY Bastien (sous la dir. de). *Apprendre demain*. Paris : Hatier, 2008.
- BRUER John. *The Myth of the First Three Years*. New York: The Free Press, 2000.
- Csikszentmihályi Mihaly. *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. New York: Harper Perennial Modern Classics, 2008.
- DECI Edward, RYAN Richard. « Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being ». *American Psychologist*, 55(1), 2000, 68-78.
- DEHAENE Stanislas. *La bosse des maths. Quinze ans après* (2e éd.). Paris : O. Jacob, 2010.
- DOCTOROW Cory. Writing in the Age of Distraction. *Locus Magazine*, 62(576), 2009, 29-35.
- DUCKWORTH A. L., QUINN P. D., LYNAM D. R., LOEBER R., STOUTHAMER-LOEBER M. « Role of test motivation in intelligence testing ». *PNAS*, 106, 2011, 7716-7720.
- EASTES, R.-E., PELLAUD, F. Vers une école 2.0 ? Nouveaux paradigmes pour la pédagogie. In D. ANDLER & B. GUERRY (Eds.), *Apprendre demain* (pp. 102-116). Paris: Hatier, 2008.
- ENLART Sandra, CHARBONNIER Olivier. *Faut-il encore apprendre ?* Paris: Dunod, 2010.
- FERIGENSON, L., DEHAENE, S., & SPELKE, E. « Core systems of numbers ». *Trends in Cognitive Neuroscience*, 8, 2004, pp. 1-8.
- FOURNIER Michel. (sous la dir. de). *Éduquer et former* (2e éd.). Paris: Sciences humaines éditions, 2011.
- GARDNER Howard. *Intelligence reframed multiple intelligences for the 21st century*. New York : Basic Books, 1999.
- GOULD Stephen Jay. *The Mismeasure of Man* (2e éd.). New York: W.W. Norton, 1996.
- HINTON, C., MIYAMOTO, K., & DELLA-CHESSA, B. « Brain Research, Learning and Emotions: implications for education research, policy and practice ». *European Journal of Education*, 43(1), 2008, pp. 87-103.
- HOUSSAYE Jean. *Le triangle pédagogique. Théorie et pratiques de l'éducation scolaire* (3e éd.). Berne : Peter Lang, 2000.
- LIEURY Alain, Fenouillet Fabien. *Motivation et réussite scolaire* (2e éd.). Paris : Dunod, 2006.
- NOËL Bernadette. *La Métacognition*. Bruxelles : De Boeck université, 1997.
- NOËL Bernadette. « La métacognition ». In J.-F. Dortier (Ed.), *Le cerveau et la pensée*. Paris: Sciences humaines éditions, 2003.
- OCDE. *Formative Assessment. Improving Learning in Secondary Classrooms*. Paris : OCDE, 2005.
- PEYRONIE Henry. *Célestin Freinet. Pédagogie et émancipation*. Paris : Hachette éducation, 1999.
- REIF Frederik. *Applying Cognitive Science to Education*. Cambridge : MIT Press, 2008.
- WEIL-BARAIS Annick. *L'homme cognitif*. Paris: Presses universitaires de France, 1993.