

Cet article est la traduction d'un article originellement imprimé dans le livre "Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an International Workshop." R. Duit, F. Goldberg, H. Niedderer (Editors) March 1991 IPN 131 ISBN 3 - 89088 - 062 - 2.

L'ENSEIGNEMENT POUR UN CHANGEMENT CONCEPTUEL : UNE REVUE DES STRATEGIES

P. H. Scott, H.M. Asoko, & R. H. Driver, *Children's Learning in Science Research Group, University of Leeds, UK*

Introduction

Au cours des vingt dernières années, un programme de recherches a été activement développé dans le domaine de la compréhension conceptuelle des sciences chez les enfants. Les résultats de ces recherches incluent des informations détaillées sur les conceptions d'enfants d'âges divers, dans un grand nombre de domaines scientifiques. Il est possible de se procurer des articles faisant le bilan de ces recherches ainsi que des recueils d'articles qui donnent une vue d'ensemble de ce sujet (Gilbert et Watts, 1983 ; Carey, 1985 ; Driver, Guesne et Tiberghien, 1985 ; West et Pines, 1985). L'importance accordée à la manière dont les enfants conçoivent les phénomènes naturels est un thème récurrent dans ce programme de recherches. L'apprentissage est considéré plus comme un développement ou un changement conceptuel que comme une accumulation d'éléments nouveaux. Plusieurs modèles d'apprentissage ont été proposés à partir de ce point de vue, certains issus de la littérature épistémologique (Posner, Strike, Hewson et Gertzog, 1982), et d'autres de la psychologie cognitive (Osborne et Wittrock, 1983). Tous ces travaux ont des conséquences très importantes sur les pratiques de classe, et les approches de l'enseignement qui prennent en compte les notions alternatives des enfants ont fait l'objet de recherches, de développement et de tests. Ces approches impliquent des stratégies pédagogiques variées ; elles s'appuient sur divers aspects théoriques sous-jacents et ont surtout été décrites et testées pour des élèves appartenant à une tranche d'âge limitée.

Cet article passe en revue les stratégies pédagogiques dont il est question dans la littérature et qui s'inspirent largement de l'apprentissage en tant que changement conceptuel. A ce jour, les programmes de recherches sur les notions alternatives ont eu un impact limité sur la pratique en classe. A l'Université de Leeds, nous examinons actuellement la façon dont leurs résultats peuvent être utilisés pour concevoir l'enseignement scientifique de manière générale, et le but de cet article est d'identifier l'ensemble des stratégies proposées mais aussi d'analyser les hypothèses sur lesquelles elles sont fondées.

Selon Shuell (1987), "la tâche de l'enseignant est importante car elle consiste à déterminer quelles tâches d'apprentissage sont les plus appropriées au travail des élèves" (p.245). Ceci pose un problème essentiel aux enseignants et aux professeurs de science, qui est de savoir sur quels critères l'enseignant doit sélectionner des tâches d'apprentissage et des stratégies, mais aussi dans quelle mesure le programme de recherche sur les conceptions scientifiques des enfants peut aider à résoudre ce réel problème pratique.

Nous proposons que les décisions pédagogiques soient prises à trois niveaux. Premièrement, le professeur doit créer un environnement d'étude propice à un apprentissage basé sur le changement conceptuel. Un environnement de ce type pourrait, par exemple, favoriser les discussions et la prise en compte d'autres opinions et d'autres arguments. Un deuxième niveau de prise de décision concerne la sélection de *stratégies d'enseignement*. Nous considérons ces stratégies comme des structures générales qui aident à la séquentialisation de l'enseignement dans un domaine donné. Troisièmement, il faut choisir avec précaution *les tâches d'apprentissage* spécifiques. Les tâches d'apprentissage doivent correspondre au cadre fourni par la stratégie sélectionnée et elles doivent répondre aux exigences du domaine scientifique considéré.

Lors de la sélection des stratégies d'enseignement appropriées, on peut être amené à prendre en compte quatre facteurs :

1. Les conceptions préalables et les attitudes des élèves : les conceptions préalables des élèves dans de nombreux domaines scientifiques sont décrites avec précision dans la littérature, mais il s'agit maintenant de se demander comment cette littérature doit guider l'enseignement.
2. La nature des résultats espérés de l'apprentissage : les résultats de l'apprentissage et leur analyse logique dans les termes de la science ont toujours représenté une préoccupation majeure dans la planification de l'enseignement.
3. Une analyse des exigences intellectuelles en jeu quand l'apprenant développe ou modifie ses notions : cette analyse se centre sur la nature du cheminement intellectuel nécessaire à l'apprenant lorsqu'il passe de notions initiales aux résultats espérés de l'apprentissage.
4. La prise en compte de stratégies d'enseignement possibles qui peuvent aider les élèves à passer de leur point de vue initial à un point de vue scientifique.

Cet article traite du quatrième de ces facteurs et passe en revue la littérature sur les stratégies d'enseignement basées sur le changement conceptuel. Nous résumerons d'abord diverses stratégies qui ont été exposées dans la littérature, puis nous identifierons et analyserons un certain nombre de questions théoriques qui ressortent de cette revue. Enfin, nous examinerons les problèmes pratiques relatifs à l'enseignement pour un changement conceptuel.

Revue des stratégies qui encouragent le changement conceptuel

Nous avons identifié deux groupes principaux de stratégies qui encouragent le changement conceptuel. Le premier est celui des stratégies basées sur le conflit cognitif et la résolution des points de vue. Le deuxième groupe est celui des stratégies qui se basent sur les idéesⁱ initiales de l'apprenant et qui les étendent à un domaine nouveau, par exemple, par la métaphore ou l'analogie. Sous-jacente à cette distinction entre ces deux groupes, on trouve une importance différente accordée à la répartition des responsabilités pour permettre un changement conceptuel chez les apprenants. On peut considérer que les stratégies qui mettent en avant le conflit conceptuel et la résolution de celui-ci par l'apprenant sont inspirées d'une vision piagétienne de l'apprentissage, dans laquelle les efforts que consacrent les apprenants à la réorganisation de leur savoir sont essentiels. Quant aux stratégies basées sur les schèmes initiaux de connaissances des apprenants étendues à des domaines nouveaux, on peut considérer qu'elles attachent moins d'importance au rôle d'accommodation de l'apprenant, et qu'elles se concentrent plutôt sur la mise au point d'interventions appropriées des enseignants qui proposent un "étayage" pour de nouvelles façons de penser.

Les stratégies d'enseignement basées sur le conflit cognitif et sa résolution

Le conflit cognitif a servi de point de départ pour le développement d'un certain nombre d'approches sur l'enseignement pour le changement conceptuel. Ces approches favorisent des situations dans lesquelles les idées initiales d'un élève sur certains phénomènes sont explicitées puis sont directement mises en cause afin de créer un état de conflit cognitif. Les tentatives pour résoudre ce conflit représentent les premières étapes de l'apprentissage qui en découle, quand cet apprentissage a lieu. Les paragraphes suivants passent en revue les diverses approches de l'enseignement basées sur le conflit.

a) Les événements qui mettent en évidence une contradiction :

Nussbaum et Novick (1982 a, b) proposent une séquence d'enseignement qui s'inspire de la notion piagétienne d'accommodation (Piaget 1964) et qui comporte quatre éléments principaux :

- Découvrir tout d'abord les préconceptions des élèves à travers leurs réactions à un événement révélateur.

- Aiguiser la prise de conscience de l'élève de sa structure mentale et de celle des autres élèves.
- Créer un conflit conceptuel en tentant d'expliquer un événement qui met en évidence la contradiction.
- Encourager et aider l'accommodation cognitive, puis inventer un nouveau modèle conceptuel qui corresponde à l'opinion scientifique établie.

Cette séquence a servi de base pour enseigner à des élèves âgés de 11 à 13 ans des aspects de la structure des gaz (entre autres les notions de vide entre les particules et de mouvement des particules). En évaluant cette approche d'enseignement, ses auteurs notent son succès dans "la création d'un défi cognitif et d'une motivation pour apprendre", mais ils reconnaissent que l'enseignement "n'a pas entraîné le changement conceptuel total souhaité chez tous les élèves". En conclusion, ils comparent cette approche d'enseignement à l'histoire des sciences en suggérant : "un changement conceptuel majeur ne s'opère pas... par la révolution, car il est par nature un processus évolutif".

b) Le conflit entre les idées :

Stavy et Berkovitz (1980, p.679) attirent l'attention sur deux types d'enseignement par conflit. Ils font la différence entre "un conflit qui se produit entre la structure cognitive d'un enfant liée à une certaine réalité physique et cette réalité physique" et "un conflit qui se produit entre deux structures cognitives différentes liées à la même réalité".

Ils utilisent ce deuxième type de conflit pour développer une stratégie d'enseignement destinée à améliorer la compréhension du concept de température chez les enfants. Ils explorent en particulier le conflit entre deux systèmes de représentation que l'enfant utilise pour décrire la température : le système qualitatif-intuitif et le système quantitatif-numérique. L'enseignement par le conflit s'appuyait sur le fait que les connaissances qualitatives de l'enfant sur certains aspects du concept de température sont correctes à un certain âge et peuvent être utilisées pour les encourager à se servir de leurs connaissances pour résoudre un problème numérique. Par exemple, à l'âge de 9 ou 10 ans, un grand nombre d'enfants affirmeront que de l'eau tiède ajoutée à de l'eau tiède donnera encore de l'eau tiède, et pourtant ils maintiendront que de l'eau à 30°C à laquelle on ajoute de l'eau à 30°C produira de l'eau à 60°C.

Cette stratégie d'enseignement avait recours à une combinaison de feuilles d'exercices et de travaux pratiques, pour que les élèves prennent conscience de l'aspect conflictuel de leur vision des choses. Elle a été testée sur des élèves âgés de 10 ans en moyenne, et travaillant individuellement et en groupes. Les auteurs concluent : "nos résultats indiquent que l'enseignement par le conflit a, en effet, amélioré la compréhension du concept de température chez les enfants, à la fois dans les situations d'enseignement individuel et en classe" (p.689). Ils notent le succès particulier de cette stratégie pour aider les enfants à développer leur compréhension de "l'aspect intensif" de la température.

Cosgrove et Osborne (1985), Champagne, Gunstone et Klopfer (1985) ainsi que Rowell et Dawson (1985) ont mis au point des approches d'enseignement qui demandent aux élèves d'expliquer clairement les différences entre des idées provenant de sources différentes (par exemple d'autres élèves, du professeur ou d'un texte scientifique). Cosgrove et Osborne (1985) proposent un "Modèle génératif d'apprentissage" qui se déroule en quatre phases :

Phase préliminaire : l'enseignant doit comprendre le point de vue du scientifique, celui des enfants et le sien.

Phase de centrage : les élèves ont la possibilité d'explorer le contexte du concept, de préférence dans le cadre d'une situation "réelle" de la vie quotidienne. Les apprenants doivent s'efforcer de clarifier leurs propres points de vue.

Phase de mise en questionⁱⁱ : les apprenants débattent entre eux du pour et du contre de leur point de vue initial et l'enseignant introduit le point de vue scientifique (si nécessaire).

Phase d'application : les élèves ont la possibilité de mettre en pratique leurs nouvelles idées à travers des contextes divers.

Les auteurs insistent sur le fait qu'un point de vue scientifique alternatif peut ne pas être "accepté avec beaucoup d'enthousiasme tant qu'il n'aura pas été rendu intelligible et plausible grâce à des expériences, des démonstrations ou des références analogiques" (p.107). Ils mettent aussi en avant l'importance de la phase préliminaire lors de la préparation du cours.

Ce modèle a été utilisé lors d'un cours sur le courant dans les circuits électriques qui comprenait, lors de la phase de mise en question, un "test critique" qui demande aux élèves de mesurer le courant électrique en amont et en aval d'une ampoule. L'unité de courant électrique a déjà été utilisée plusieurs fois (enfants âgés de 11 à 14 ans), et les auteurs soulignent l'efficacité de cette méthode pour aider les élèves à passer de la notion d'électricité "consommée" à celle de courant conservé dans l'ensemble du circuit électrique.

Ils attirent l'attention sur les problèmes de stabilité des nouvelles idées à la fois selon les contextes et dans le temps et suggèrent que "lorsque les idées sont contraires à l'intuition et ne sont pas renforcées par d'autres situations d'apprentissage, il serait très souhaitable de les utiliser à nouveau dans des expériences ultérieures sur le même sujet" (p.122).

Champagne, Gunstone et Klopfer (1985) ont proposé une stratégie basée sur le dialogue appelée "Confrontation Idéationnelleⁱⁱⁱ" et qui est spécialement destinée à modifier les connaissances déclaratives des élèves dans un domaine particulier (par exemple le mouvement des objets). Elle comprend les étapes suivantes :

- Les élèves explicitent "les notions dont ils se servent pour expliquer ou présenter un phénomène physique banal" (par exemple le mouvement d'un ballon qui se dégonfle).
- Chaque élève développe une analyse qui soutienne ses prévisions et la présente à la classe.
- Les élèves tentent de se convaincre mutuellement de la validité de leurs idées ; les discussions et arguments présentés provoquent chez chaque élève une prise de conscience explicite de ses idées sur le mouvement dans ce contexte.
- L'enseignant fait une démonstration du phénomène physique (par exemple lâche le ballon) et donne une explication théorique à l'aide de concepts scientifiques.
- Des discussions supplémentaires permettent aux élèves de comparer leurs analyses avec l'analyse scientifique.

Cette stratégie a été testée sur des élèves appartenant à deux groupes d'âges différents : des élèves du collège (école secondaire inférieure) et des enseignants en formation. Les auteurs suggèrent que le fait de discuter, de prendre en compte les points de vue des autres élèves, et de comparer la situation considérée à d'autres phénomènes réels encourage de manière significative le changement d'opinions. Ils affirment aussi que les élèves doivent être motivés et que la qualité des arguments s'améliore au cours de l'enseignement.

Plutôt que d'essayer de promouvoir le changement conceptuel en induisant un conflit avec les conceptions initiales des élèves au début d'une séquence d'enseignement, Rowel & Dawson (1985) proposent une stratégie où la résolution entre les idées initiales des élèves et les nouvelles conceptions se situe après que les nouvelles conceptions aient été introduites. Leur approche, s'appuie sur une perspective fondée sur l'histoire et la philosophie des sciences et sur la théorie de l'équilibration (Piaget (1977)). Elle est fondée sur les prémisses suivantes :

- Une théorie ne peut être remplacée que par une théorie meilleure et ne peut pas être rejetée seulement si les faits sont contradictoires.
- La mise au point d'une théorie meilleure n'implique pas forcément une confrontation immédiate avec les connaissances qu'un individu considère spontanément comme appropriées.
- Bien que le changement cognitif implique à la fois des connaissances stratégiques et méta-stratégiques (Kuhn 1983), ces connaissances n'ont pas besoin d'être construites ensemble.

Cette approche d'enseignement comporte six étapes :

- Les idées que les élèves estiment utiles à la situation du problème considéré sont établies.

- Les idées proposées par les élèves sont acceptées sans discussion et sont notées sur une "fiche mémoire" pour être reconsidérées ultérieurement.
- On annonce aux élèves qu'une théorie va leur être enseignée, et qu'elle pourra peut-être résoudre le problème posé et que leur aide sera nécessaire à son élaboration et plus tard à son évaluation par rapport aux autres explications qu'ils ont proposées.
- Cette nouvelle théorie est présentée en relation avec les connaissances de base que les élèves maîtrisent déjà.
- On demande aux élèves d'appliquer la nouvelle théorie à la résolution du problème, afin que chaque élève individuellement montre sa mise en œuvre. Cette procédure comprend un travail écrit, qui constituera pour chaque élève une deuxième fiche mémoire.
- Chaque élève compare ses fiches mémoires des étapes 1 à 5 et la qualité des idées proposées. Les élèves examinent d'abord les problèmes stimulus utilisés dans les tests, et auxquels les fiches mémoires se rapportent, puis ils font un examen plus large, afin de couvrir le plus de situations significatives possibles. En d'autres termes, l'élève est engagé dans l'acquisition de connaissances méta-stratégiques.

Dawson (1990) passe en revue l'utilisation de cette approche dans le contexte de l'introduction des transformations chimiques à des débutants.

Les stratégies d'enseignement basées sur le développement d'idées compatibles avec le point de vue scientifique

Contrairement aux stratégies qui encouragent les conflits et la résolution de ces derniers par les élèves, le deuxième groupe de stratégies d'enseignement se fonde sur les idées initiales des élèves. L'enseignement et l'apprentissage qui en résultent font participer l'élève au développement et à l'extension de ces idées initiales vers le point de vue scientifique.

Clement et al. (1987) ont développé et testé une stratégie d'enseignement analogique dans le domaine de la mécanique, qui vise à "accroître la portée de l'application des intuitions utiles et diminuer la portée d'application des intuitions qui mènent à une construction conceptuelle erronée" (Brown et Clement, 1989, p. 239). Cette stratégie suppose que le changement conceptuel peut être encouragé en offrant la possibilité aux élèves de construire une compréhension qualitative-intuitive des phénomènes, avant de maîtriser des principes quantitatifs. Ce type de compréhension est développé en formant des relations d'analogie entre un cas cible mal compris et un "exemple servant d'ancrage", qui fait appel aux connaissances intuitives de l'élève. L'utilisation d'une "stratégie de pont" s'est avérée utile au développement de cette relation.

D'après la description de Brown et Clement (1989), cette stratégie de pont comporte quatre étapes :

- On rend explicite les conceptions^{iv} de l'élève relatives au domaine considéré en posant une question cible. Un exemple type de question qui fait ressortir une conception chez une majorité de nouveaux élèves en classe de physique, concerne l'existence d'une force qui s'exerce vers le haut sur un livre posé sur une table. En général, les élèves considèrent la table comme un objet passif, incapable d'exercer une force vers le haut.
- L'enseignant suggère un cas qu'il/elle considère analogue (par exemple, une main qui soulève un livre) et qui fera appel aux intuitions des élèves. Ce cas est appelé "exemple servant d'ancrage" ou plus simplement "ancrage". On définit l'intuition d'ancrage comme étant une croyance présente chez un élève inexpérimenté et qui est à peu près compatible avec la théorie physique reconnue. Cette croyance peut être explicite ou tacite (Clement et al., 1987).
- L'enseignant demande à l'élève de faire une comparaison explicite entre l'exemple d'ancrage et les cas cibles, afin d'établir une relation d'analogie.
- Si l'élève n'accepte pas l'analogie, l'enseignant essaye alors de trouver une "analogie pont" (ou une série d'analogies qui font le pont), conceptuellement intermédiaire entre la

cible et l'exemple d'ancrage. Dans l'exemple du livre posé sur une table, une analogie qui fait le pont pourrait être un livre posé sur un ressort.

L'utilisation expérimentale de telles stratégies pour dépasser les misconceptions comme celles sur les forces statiques, les forces de frottements et la troisième loi de Newton relative au mouvement aurait permis des acquis plus importants entre le pré- et le post-test que dans les groupes de contrôle. Des travaux récents (Clement, Brown et Zietsman, 1989) ont inclus des recherches plus poussées sur les conceptions d'ancrage.

Stavy (1991) parle aussi de stratégies qui visent à utiliser les connaissances perceptuelles intuitives des élèves, dans ce cas pour comprendre que la matière est conservée lors de l'évaporation. D'après Stavy, l'utilisation d'une relation analogique entre ce qui est connu et ce qui est inconnu peut aider les élèves à apprendre de nouvelles informations et à rejeter ou modifier des misconceptions. Dans l'étude en question, des élèves âgés de 10 à 13 ans ont été divisés en deux groupes. Le premier groupe a dû résoudre un problème sur l'évaporation de l'iode lors de laquelle on peut distinguer l'iode gazeuse sous forme de gaz coloré, puis un problème du même type relatif à l'acétone qui forme un gaz invisible. Quant au deuxième groupe, il a d'abord utilisé l'acétone, puis l'iode. On a remarqué que le problème relatif à l'évaporation de l'acétone donnait des résultats nettement meilleurs lorsqu'il suivait le problème sur l'évaporation de l'iode. Le problème sur l'évaporation de l'iode, que les élèves comprennent de manière intuitive grâce à un phénomène perceptible, a semblé servir d'exemple analogique au problème sur l'évaporation de l'acétone qui avait été mal compris ("l'acétone.....a disparu").

Niedderer (1987) mentionne une approche quelque peu différente du changement conceptuel, en travaillant avec des élèves âgés de 16 à 19 ans. L'auteur reconnaît que cette approche est basée sur la "nouvelle philosophie des sciences" exposée par Brown (1977), et qu'elle ne vise pas à remplacer les théories des élèves (basées sur la pensée quotidienne) par une théorie scientifique ; elle permet en revanche aux élèves de prendre conscience de ces deux théories et d'apprendre des concepts scientifiques en comprenant la différence entre la pensée quotidienne et la pensée scientifique - approche déjà défendue par Solomon (1983). Globalement, cette stratégie comporte six étapes :

- La *préparation* : processus d'enseignement qui précède l'intervention et qui peut fournir des outils et des concepts utiles.
- L'*initiation* : un problème ouvert est posé.
- La *performance* : elle comprend les parties de la séquence suivante : formulation de questions ou d'hypothèses, planifier et réaliser des expériences, faire des observations, avoir des discussions théoriques, formuler des résultats.
- La *discussion des résultats* : lors d'un forum avec la classe
- La *comparaison avec les théories scientifiques* : on compare les résultats des élèves à des théories historiques similaires ou à des idées modernes. On expose les différences et on tente de les expliquer.
- La *réflexion* : on encourage les élèves à revenir sur le processus de performance et à considérer les questions ou les difficultés spécifiques qui se sont présentées.

Cette séquence est illustrée dans une unité d'enseignement sur la "force". Elle consiste en une phase de préparation pendant laquelle les élèves apprennent des concepts tels que la distance, le temps, la vitesse, l'accélération. On pose ensuite aux élèves la question d'ordre général suivante : "De quoi dépend l'accélération ?". Les élèves, qui travaillent en petits groupes, formulent des questions ou des hypothèses, réalisent des expériences et font des observations. Le professeur explique ensuite le pouvoir des théories générales qui s'appliquent à un ensemble de circonstances et considère la formule $F=ma$, dans le contexte des cas spécifiques étudiés par le groupe.

L'auteur remarque que lors de leurs recherches, les élèves trouvaient en général des solutions à leurs problèmes mais n'arrivaient pas à établir des relations d'ordre général. L'introduction des élèves aux idées fondamentales sur la nature de l'investigation scientifique a semblé relativement réussie. L'auteur affirme aussi : "il semble possible que cette stratégie d'enseignement ait déclenché un processus d'apprentissage d'une grande portée, en laissant les élèves trouver leurs

propres résultats et en comparant systématiquement ces résultats à ceux de la recherche scientifique" (p. 365).

Problèmes théoriques de l'enseignement pour le changement conceptuel

Nous avons identifié dans la littérature deux façons d'envisager l'enseignement pour le changement conceptuel : le conflit cognitif et sa résolution, et le développement des idées. Nous allons maintenant étudier plusieurs points théoriques, dont certains sont liés directement à ce bilan et d'autres ont une portée plus générale.

Prendre en compte les idées des élèves

Le principe fondamental, qui sous-tend toutes les approches recensées, souligne l'importance de tenir compte des idées des élèves et de ce qu'ils comprennent dans toute situation d'enseignement et d'apprentissage. Ce processus a été mis en œuvre de diverses façons :

- en faisant apparaître explicitement les idées des élèves en classe,
- à travers le choix des points de départ de l'enseignement,
- à travers la conception des programmes.

Les stratégies de conflit (ainsi que les travaux de Niedderer) mettent toutes en jeu des phases au cours desquelles on laisse aux élèves la possibilité d'exprimer et de clarifier leur point de vue. On identifie alors les différences entre leurs idées et le point de vue scientifique. Niedderer propose une approche alternative partant des idées des élèves sur lesquelles il s'appuie pour développer des généralisations dans la perspective scientifique. Dans tous ces exemples, les idées des élèves sont explicitement mises à jour et utilisées dans l'enseignement qui va suivre.

Clement et al (1987) partent d'une question cible conçue pour révéler les "misconceptions" des élèves à propos d'un phénomène puis attirent leur attention sur un "exemple de référence" qu'il considère comparable au phénomène. Dans une telle situation, les points de départ de l'enseignement sont choisis en fonction des idées des élèves et de ce qu'ils comprennent ; l'enseignement n'est alors pas conçu pour répondre aux idées explicitement soulevées par les élèves en classe. De la même manière, Stavy (1991) utilise la prise de conscience par les enfants de leur compréhension (leurs connaissances intuitives perceptuelles) pour fournir un point de départ à l'enseignement sur la "conservation de la matière".

D'autres chercheurs ont utilisé la connaissance des conceptions des enfants pour procéder à la structuration et à la séquentialisation de certaines parties du programme scientifique. Ainsi, Schollum, Hill et Osborne (1982) s'appuient, pour enseigner la mécanique à des élèves âgés de 11 à 13 ans, sur le fait que beaucoup d'entre eux pensent que les objets bougent parce que "quelque chose en eux les maintient en mouvement" et commencent par introduire la notion de moment comme étant ce "quelque chose". Les professeurs qui travaillent avec cette approche rapportent que "les enfants semblent déjà avoir ces idées". De la même façon, Eisen et Stavy (1987) ont développé une unité d'enseignement sur la photosynthèse qui s'appuie sur les cycles naturels de la matière ; ils considèrent que, pour les élèves, ces cycles sont d'ordre naturel.

La nature et le rôle du conflit

On peut dire que, du point de vue de l'enseignant, toutes les approches présentées ci-dessus, même celles qui ne s'appuient pas sur le conflit cognitif, sont en elles-mêmes porteuses d'un conflit, réel ou potentiel. Ce conflit oppose les théories scientifiques reconnues aux idées que les élèves apportent en classe, ou construisent tout au long du processus d'apprentissage. Stavy, par exemple, mentionne un professeur qui, conscient des idées de ses élèves sur la conservation de la masse pendant l'évaporation, s'attend à ce qu'un conflit émerge entre les

réactions qu'ils sont susceptibles d'avoir sur l'évaporation de l'acétone et le point de vue des scientifiques. Il contournera ce conflit en proposant d'abord les travaux sur l'évaporation de l'iode. Cependant, si les professeurs sont souvent conscients de cette situation de conflit, les élèves peuvent en être totalement inconscients. En effet, même si il est mis en évidence, rien ne garantit que l'élève sera capable de le reconnaître ou de concevoir son importance.

Les stratégies d'enseignement utilisant délibérément une approche basée sur le conflit peuvent certes mettre en évidence ces conflits entre les idées des élèves et les perspectives scientifiques (par exemple Rowel & Dawson, 1985), mais elles peuvent aussi exploiter les contradictions entre :

- deux ensembles d'idées déjà à la disposition des apprenants, par exemple les représentations qualitatives intuitives et quantitatives numériques de la température, citées par Stavy et Berkovitz (1980) ;
- un modèle explicatif donné par l'apprenant et un événement que ce modèle ne peut expliquer, par exemple, le modèle continu de la structure des gaz opposé à la preuve que le gaz peut être comprimé, cité par Nussbaum et Novick (1982a) ;
- les idées d'un élève et celles de ses camarades de classe (par exemple les différentes idées du mouvement des objets, citées par Champagne et al. (1985).

Le succès de ces stratégies dépend de la volonté et de la capacité de l'apprenant à reconnaître le conflit et à le résoudre. Par exemple, on ne peut faire apparaître un conflit entre les différentes idées présentes dans une classe, ou entre les attentes d'un élève et un événement physique, que si ce dernier est prêt à construire une compréhension personnelle de telles idées et événements et à essayer, par la suite, de les relier. De plus, Dreyfus et al. (1990, p.567) soulignent que "même les conflits porteurs de sens ne sont pas toujours des succès car ils n'impliquent pas toujours l'acquisition des connaissances requises, et/ou simplement visées".

Parmi les stratégies d'enseignement mentionnées dans cette étude, on a pu identifier quatre positions face au rôle du conflit et de sa résolution.

1) Les stratégies où le conflit est nécessaire à l'apprentissage et doit être reconnu par l'élève au début de l'enseignement

Nussbaum et Novick (1982a) expliquent qu'ils introduisent le conflit au tout début de la séquence d'enseignement pour faire ressentir à l'élève le besoin de "reconnaître qu'il y a un problème et qu'il ne peut le résoudre sur la base des connaissances dont il dispose". Ils supposent de plus que l'être humain a un "besoin inné d'expliquer les incohérences, les incongruités et les conflits entre deux connaissances" (p.186). Le conflit sert alors de motivation dans la recherche d'une explication plus plausible. Cela s'applique également aux travaux de Stavy et Berkovitz (1980), qui travaillent sur les représentations de la température.

2) Les stratégies qui introduisent d'abord le "point de vue alternatif" et mettent le conflit en évidence plus tard

Rowell et Dawson (1983) suggèrent qu'il faut laisser aux élèves l'occasion de clarifier leurs propres idées et introduire la perspective scientifique avant de mentionner le conflit. Ils considèrent que cette approche est plus efficace et moins risquée pour les apprenants car "leur ancienne façon de penser n'est mise en cause que quand une nouvelle façon est à leur disposition pour la remplacer" (p.124).

3) Les stratégies où le conflit apparaît comme un élément essentiel de l'apprentissage

Clement envisage le conflit comme une motivation potentiellement utile à l'apprentissage. Il suggère que, "dans le cas où des tensions entre une "misconception" et une conception correcte s'opposent chez le même élève, il faut les mettre à jour ... et les confronter. " (p.94). Sa principale stratégie est de développer ces conceptions "utiles" en utilisant la comparaison plutôt que de contester leurs "misconceptions". Il considère cependant comme potentiellement utile l'exploitation des conflits entre les différents points de vue des élèves et suggère que, "menées

adroitement, les discussions en classe sont des moyens efficaces de faire apparaître les dissonances et d'encourager les motivations internes et les restructurations conceptuelles" (p.94).

4) Les stratégies visant à éviter les conflits

Stavy (1991) se demande si des stratégies de conflit ne risquent pas de faire perdre aux élèves leur confiance en eux et même régresser d'une conception correcte à une "misconception". Dans son approche analogique de l'enseignement, (1991), elle affirme que si les élèves "n'ont pas pris conscience de l'existence du conflit et du processus d'apprentissage, l'apprentissage a eu lieu sans que les élèves en soient conscients. Du point de vue de l'élève, il n'y a aucune misconception et aucun apprentissage n'a lieu".

La construction des conceptions scientifiques

Les élèves n'adoptent une nouvelle conception que s'ils peuvent se la représenter, autrement dit s'ils peuvent la comprendre. L'origine de ces nouvelles conceptions et la façon dont on les rend compréhensibles aux élèves dépendent de la stratégie utilisée. Certaines, par exemple celles qui privilégient le conflit, supposent en général que les élèves proposent des conceptions "alternatives" : si quelqu'un propose une alternative acceptable elle devient immédiatement disponible dans le "réservoir" des idées à envisager par tous les élèves à travers la discussion et l'expérimentation. Ce style de stratégies peut être efficace dans les cas où les élèves n'éprouvent pas de difficultés à formuler des alternatives valables.

Ce n'est pas toujours le cas : certains chercheurs admettent que le professeur peut avoir besoin d'intervenir pour ajouter la conception généralement acceptée par les scientifiques à celle des élèves. Ceci attire l'attention sur un problème théorique fondamental que pose le processus de construction des conceptions scientifiques. Les conceptions scientifiques ne sont pas simplement des constructions mentales individuelles développées pour donner du sens à la vie de tous les jours mais des "façons de voir" qui se sont développées à l'intérieur de la communauté scientifique. Dans ce sens, elles doivent être transmises par l'intermédiaire de la culture scientifique plutôt que "découvertes" à travers l'expérience personnelle. Pour aider les élèves à construire une conception scientifique, il faut passer par un processus d'initiation à la culture scientifique dans lequel le professeur joue le rôle important de guide.

La revue des différentes stratégies pour le changement conceptuel a mis en évidence plusieurs façons de favoriser ce processus de construction des conceptions scientifiques. D'un côté les méthodes qui encouragent les élèves à présenter par eux-mêmes des conceptions plus viables, à travers des séances de "brainstorming" et de réflexion. La manière dont le professeur encourage certaines idées plutôt que d'autres (voir Edwards et Mercer, 1987), peut leur donner un statut différent, et conduire ainsi l'élève, d'une manière indirecte, à une perspective scientifique.

Les autres stratégies défendent de manière plus directe le processus de construction des connaissances. Le choix rigoureux des analogies qui soutiennent la construction de ces nouvelles conceptions (comme dans les travaux de Clement et al., 1987) en est un bon exemple. Celle proposée par Rowell et Dawson laisse aux élèves le temps de construire un nouveau modèle, mais sans expliquer comment ils travaillent. Dans d'autres (celles décrites par Niedderer par exemple) le professeur propose une vision "intégrée" sur la base des expériences fournies par les élèves et négocie son utilité avec eux. Dans ce processus, on considère que les concepts et les théories scientifiques sont mises à la disposition des élèves et leur sens est négocié avec eux. Ce travail qui s'inscrit dans la lignée de Vygotsky, met l'accent sur le processus par lequel les apprenants sont soutenus dans le développement de nouvelles capacités par une "phase spécifique d'étayage".

Dans nos travaux sur la mécanique à Leeds (Twigger et al., 1991) nous introduisons explicitement des moyens de représentation (comme les flèches pour le vecteur force) à des moments appropriés du travail des élèves sur les micromondes informatiques. Nous ne nous

attendons pas à ce qu'ils "découvrent" ces moyens eux-mêmes, même s'ils ont besoin d'occasions d'utiliser ce type de notation dans la réflexion et l'interprétation sur tout un ensemble de situations pour se les approprier.

Ce processus de construction des connaissances pose souvent un problème : la construction d'un modèle scientifique nécessite que soit établi un grand nombre de concepts et de relations. C'est ce qui se passe pour la mécanique newtonienne (avec les liens entre les concepts de force, de vitesse, d'accélération et de quantité de mouvement) ou pour l'électricité (où les concepts de courant, de résistance, de tension et de puissance doivent être établis et reliés). Le nouveau modèle théorique met du temps à s'établir si bien que les élèves continuent parfois, même sans en être conscients, à essayer d'interpréter les expériences qui leur sont soumises avec leurs idées initiales sur ce domaine. Même si ces conceptions complexes ne peuvent être construites que petit à petit, elles n'ont de sens que globalement, ce qui constitue un problème complexe pour la pédagogie.

L'évaluation des conceptions scientifiques

Il se peut que les élèves soient capables de construire une représentation d'une idée scientifique qui leur soit compréhensible. Mais il y a un autre aspect du processus de changement conceptuel : le statut que les élèves donnent à la conception scientifique. Il existe plusieurs possibilités. La conception peut être comprise (c'est-à-dire que l'élève peut en créer une représentation interne) mais l'élève ne croit pas que ce soit une représentation de la réalité du monde. Nous avons vu des élèves du secondaire réagir ainsi devant la théorie particulière.

Plutôt que d'évaluer ontologiquement une nouvelle conception (c'est-à-dire en essayant de se représenter comment les choses sont dans la réalité), les élèves les évaluent parfois dans une perspective utilitaire. La conception est alors évaluée en fonction de son utilité dans des contextes particuliers (aussi bien sociaux que phénoménologiques). Il est peut-être nécessaire de souligner ce que dit Solomon (1983), à savoir que plutôt que d'orienter l'enseignement vers le changement conceptuel, il est nécessaire d'aider les élèves à apprécier si "ces manières particulières de voir le monde" sont appropriées dans des contextes spécifiques.

Une nouvelle conception peut aussi être évaluée par rapport à sa généralité. Le problème n'est plus alors de savoir si la nouvelle conception convient mieux à l'expérience quotidienne ou si dans certains exemples elle semble plus utile et plus appropriée. Ce mode d'évaluation introduit un critère épistémologique : la cohérence. Même s'il y a probablement une certaine tendance cognitive à aller vers des représentations mentales cohérentes plutôt qu'incohérentes, des études sur la façon dont les enfants et les adultes raisonnent montrent que son influence est loin d'être décisive. Ouvrir les élèves à la science implique cependant de donner beaucoup d'importance à ce critère. Tout comme nous avons avancé ci-dessus que l'enseignement des sciences nécessite des conceptions scientifiques explicitement étayées, nous pensons qu'il est possible de dire qu'il implique aussi l'introduction explicite des fondements épistémologiques qui sous-tendent "le jeu linguistique" de la science. Un critère comme la parcimonie introduit aussi une discontinuité entre les conceptions quotidiennes des élèves et les conceptions scientifiques : non seulement elles sont incommensurables, mais leur évaluation n'utilise pas les mêmes critères. Si, pour les conceptions quotidiennes c'est le critère ontologique, voire utilitaire, qui domine probablement, la parcimonie de l'évaluation des conceptions scientifiques a un statut beaucoup plus élevé.

A la lumière de ce qui précède un certain nombre de commentaires sur les stratégies spécifiques pour le changement conceptuel sont proposés. La plupart des stratégies exigent de l'élève qu'il puisse évaluer les conceptions qui sont en jeu, soit explicitement, comme le proposent Rowell et Dawson (1985), soit par la discussion et l'interaction entre les idées comme dans les stratégies proposées par Champagne et al. (1985), Cosgrove et Osborne (1985) et Niedderer (1987).

Ces méthodes d'évaluation impliquent la confrontation d'au moins deux conceptions divergentes sur la base de différents critères tels que leur cohérence interne et leur aptitude à la

généralisation. Ceci signifie pratiquement que, pour évaluer une conception scientifique, les élèves doivent avoir la possibilité d'étudier non pas un seul phénomène soigneusement choisi mais toute une gamme d'exemples. L'étude d'un grand nombre de situations joue un rôle important dans l'adoption d'une conception scientifique.

Problèmes pratiques de l'enseignement pour le changement conceptuel

Dans les situations pédagogiques étudiées jusqu'ici, les élèves et les enseignants ont toujours clairement eu le rôle principal. Quelles sont alors les exigences spécifiques que "l'enseignement pour le changement conceptuel" leur impose?

Exigences envers les élèves

L'un des points communs à toutes les approches que nous avons résumées est l'importance de l'implication des élèves dans la discussion, en petits groupes ou avec l'ensemble de la classe. Cela permet de faire prendre conscience aux élèves de leurs propres idées, de ce qu'ils comprennent et de celles des autres, mais exige de nombreux efforts comme écouter, évaluer et donner un sens aux points de vue des autres. L'élève, après avoir considéré ces différents points de vue, est souvent confronté à une autre perspective dont l'autorité est plus grande puisqu'elle est introduite par le professeur, surtout pour les stratégies basées sur le conflit. On lui offre alors un grand nombre de perspectives dont il doit évaluer les mérites respectifs.

Il faut mentionner un point fondamental au sujet de cet environnement d'apprentissage dans lequel on encourage la pluralité des points de vue : il découle de conceptions particulières de la science et de l'apprentissage que les élèves peuvent très bien ne pas accepter. Ceci pose un problème : par exemple, un élève ayant une conception de l'apprentissage essentiellement transmissive, et adhérant à des approches positivistes de la science peut trouver peu judicieux qu'on lui demande d'évaluer son approche de certains phénomènes ainsi que celle des autres. Ce dilemme est illustré par une remarque faite pendant une séance de travaux pratiques : une adolescente de 14 ans, quand on lui a demandé ses idées sur un phénomène, a répondu : "Pourquoi me le demander ? Donnez moi simplement la réponse." Cette réaction est parfaitement valable dans le contexte de son approche personnelle de la science et de l'apprentissage. Si l'on veut que les élèves adoptent utilement les approches de l'enseignement et de la science qui sont décrites dans cet article, on doit leur présenter les hypothèses sous-jacentes, et les inviter à y réfléchir.

Dans ces approches, il est clair que l'élève est placé dans une situation de défi intellectuel, et c'est bien là tout l'intérêt de l'exercice. Dreyfus, Jungwirth et Eliovitch (1990) nous rappellent cependant que les élèves arrivent en cours de physique avec outre leurs conceptions "alternatives", des attitudes qui vont influencer leur apprentissage. Entre autres, ils expliquent que "des élèves brillants réagissent au conflit cognitif avec enthousiasme" et apprécient "l'effet de surprise" de la méthode et la confrontation avec des problèmes nouveaux. "Par contre, des élèves en difficulté ... semblent développer des images dévalorisantes d'eux-mêmes, une attitude négative par rapport à l'école et aux travaux qu'on leur propose et une forte d'anxiété". Par conséquent, "ils essaient d'éviter le conflit et sont plus systématiquement enclins à reculer face au problème auquel ils étaient confrontés qui ne représente pour eux qu'un nouvel échec"(pp. 565-566). Stavy (1991) explique de la même façon que "l'enseignement par le conflit peut entraîner une perte de confiance chez les élèves et parfois même une régression". Cependant, quelle que soit la stratégie adoptée, les élèves pensent en majorité qu'on ne leur fournit pas les connaissances "prédigérées", et qu'ils doivent prendre la responsabilité décisive de donner un sens aux activités d'apprentissage.

Exigences envers les enseignants

Toutes les approches présentées ici impliquent que l'enseignant réagisse positivement aux idées de ses élèves et à ce qu'ils comprennent. Les enseignants ont différentes façon de réagir à chaque approche, et les exigences qui sont associées à chacune varient en conséquence.

Dans certaines situations, l'enseignant aura un "rôle consultatif" neutre, même si cela peut lui paraître étrange par certains aspects. Il doit, par exemple, pouvoir servir d'auditoire test pour les idées des élèves et refuser d'exprimer son opinion ou de les aider quand ils posent eux-mêmes les questions qui structureront leurs investigations ultérieures.

Dans d'autres cas, le professeur réagira directement aux idées des élèves en les aidant à s'orienter vers le point de vue des scientifiques. Il est alors essentiel de bien connaître le domaine que l'on enseigne, les conceptions que les élèves ont tendance à utiliser dans ce domaine et le cheminement conceptuel qu'ils suivent une fois que l'enseignement est en route. La connaissance de ce cheminement conceptuel donne un aperçu du processus dynamique et des itinéraires d'apprentissage de la classe quel que soit le domaine spécifique. Les cheminements conceptuels ne peuvent, par leur nature même, être expliqués individuellement aux apprenants avant le début de l'enseignement (à travers, par exemple, une comparaison théorique entre les conceptions initiales des élèves et le résultat visé par l'enseignement). La pratique seule peut permettre à l'enseignant de connaître les changements conceptuels habituels, et l'acquisition de ce savoir contribue à son expertise et à développer sa confiance en soi.

Une autre nécessité fondamentale est que l'enseignant doit aussi savoir créer un environnement pédagogique dans lequel les élèves ont confiance en eux et peuvent exprimer et discuter ouvertement leurs opinions. Ceci n'est possible que si l'enseignant est sensible aux besoins des élèves, à leurs impressions et à leurs idées et qu'il sait gérer efficacement son groupe.

Nous soutenons que, pour beaucoup de professeurs, de telles exigences sont susceptibles de représenter un changement significatif par rapport à leurs méthodes habituelles. Ils doivent :

- être conscients des idées et de ce que comprennent leurs élèves du sujet traité,
- connaître les cheminement conceptuels possibles pour ce sujet,
- être sensibles aux progrès des élèves dans leur apprentissage,
- être capables de concevoir des tâches d'apprentissage susceptibles de soutenir et d'encourager ces progrès,
- être suffisamment sûrs de bien maîtriser le sujet étudié pour pouvoir évaluer les différents points de vue et y réagir,
- être capables de d'organiser et de mener une classe propice à l'apparition de tous ces phénomènes.

Derniers commentaires

Cet article a passé en revue un ensemble de stratégies d'enseignement visant à promouvoir le changement conceptuel chez l'élève. Le principal but de cette approche est de diriger les élèves vers une conception plus scientifique du monde mais il y a différentes façons d'atteindre ce but principal. Les élèves ont été encouragés de plusieurs façons à :

- échanger leurs idées initiales pour des conceptions totalement nouvelles (Nussbaum et Novick, 1982),
- étendre ou développer des idées existantes et les appliquer à de nouvelles situations (Brown et Clement, 1989),
- développer un savoir scientifique qui puisse être mis en parallèle avec des notions existantes (Niedderer, 1987),
- reconnaître la justesse et l'applicabilité de modèles dans différentes situations (Stavy et Berkovitz, 1980).

Il est clair que les exigences cognitives imposées aux élèves diffèrent suivant les stratégies. Ce point nous ramène à un problème fondamental que nous avons soulevé dans l'introduction de cet article, à savoir le choix des stratégies d'enseignement. La comparaison entre les conceptions initiales et les résultats visés donne une vue d'ensemble du changement conceptuel désiré et des indications sur l'étendue et la nature du cheminement intellectuel que doit parcourir l'apprenant. De plus, pour chaque stratégie choisie pour promouvoir ce changement, l'apprenant utilisera différents types de connaissances, qui doivent être prises en considération lors leur combinaison avec d'autres facteurs importants.

Références

- Brown, H. J. (1977) *Perception. Theory and Commitment - The New philosophy of Science*, Precedent, Chicago
- Brown, D. E. and Clement, J. (1989) Overcoming misconceptions by analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction, *Instructional Science* 18: 237-261
- Carey, S. (1985) *Conceptual Change in Childhood*, MIT Press, Massachusetts
- Champagne, A. B., Gunstone, R. F. and Klopfer, L. E. (1985) Effecting changes in cognitive structures among physics students in *Cognitive Structure and Conceptual Change*, West L. and Pines A. (Eds.). Academic Press
- Clement, J. et al. (1987) Overcoming students' misconceptions in physics: the role of anchoring intuitions and analogical validity. *Proceedings of the Second International Seminar. Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. 3: 84-97
- Clement, J., Brown. O. and Zietsman, A. (1989) Not all preconceptions are misconceptions: finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education* 11(5): 554-565
- Cosgrove, M. and Osborne, R. (1985) Lesson Frameworks for Changing Children's Ideas. In: *Learning in Science: The implications of children's science*, Osborne R. and Freyberg P. Heinemann
- Dawson, C. (1990) Dealing with students' intuitive conceptions: some research implications for chemistry teachers. *Chemeda: Australian Journal of Chemical Education*
- Dreyfus, A., Jungwirth, E. and Eliovitch, R. (1990) Applying the 'Cognitive Conflict' strategy for conceptual change - some implications, difficulties and problems. *Science Education* 74 (5): 555-569
- Driver, R., Guesne, F. and Tiberghien, A. (1985) *Children's Ideas in Science*, Open University Press
- Edwards, O. and Mercer, N (1987) *Common Knowledge*. Methuen
- Eisen, Y. and Stavy, R. (1987) A different approach to the teaching of photosynthesis. *Proceedings of the international seminar on adolescent development and school science*. Kings College, London
- Gilbert, J. K. and Watts, O. M. (1983) Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education* 10: 61-98
- Kuhn, O. (1983) On the dual executive and its significance in the development of developmental psychology. *Contributions to Human Development* 8: 81-110

- Niedderer, H. (1987) A teaching strategy based on students' alternative frameworks -theoretical conceptions and examples. In: *Proceedings of the Second International Seminar. Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics 2*: 360-367 Cornell University
- Nussbaum, J. and Novick, S. (1982a) Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science* 11: 183-200
- Nussbaum, J. and Novick, S. (1982b) A study of conceptual change in the classroom. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Lake Geneva, Chicago
- Osborne, R. J. and Wittrock, M. C. (1983) Learning science; a generative process. *Science Education* 67(4): 489-505
- Piaget, J. (1964) Development and Learning. *Journal of Research in Science Teaching* 2:176-186
- Piaget, J. (1977) *The development of thought*. Translated by A. Rosin, Blackwell, Oxford
- Posner, C. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. and Gertzog, W. A. (1982) Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education* 66(2): 211-227
- Rowell, J. A. and Dawson, C. J. (1983) Laboratory counter-examples and the growth of understanding in science. *European Journal of Science Education* 5 (2): 203-215
- Rowell, J. A. and Dawson, C. J. (1985) Equilibration, conflict and instruction: A new class-oriented perspective. *European Journal of Science Education* 4 (4): 331-344
- Schollum, B. W., Hill, C. and Osborne, R. (1982) *Teaching about force*. Working Paper No. 34, Learning in Science Project. Hamilton, New Zealand; SERU, University of Waikato
- Shuell, T. J. (1987) Cognitive psychology and conceptual change: Implications for teaching science. *Science Education* 71 (2): 239-250
- Solomon, J. (1983) Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education* 5(1): 49-59
- Stavy, R. (1991) Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Teaching* 28 (4): 305-313
- Stavy, R. and Berkovits, B. (1980) Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education* 64: 679-692
- Twigger, D. et al. (1991) The 'Conceptual Change in science' project. *Journal of Computer Assisted Learning* (in press).
- West, L. and Pines, A. (Eds.) (1985) *Cognitive structure and conceptual change*. Academic Press

Section C5, L'enseignement pour le changement conceptuel : Une revue des stratégies ; Connecter les Recherches en Enseignement de la Physique et la formation des professeurs
 Livre de l'I.C.P.E. © Commission internationale sur l'enseignement de la physique 1997-1998
 All rights reserved under International and Pan-American Copyright Conventions

Notes du traducteur

ⁱ Nous avons choisi de traduire "idea" par "idée"; on peut considérer qu'en anglais "idea" est intermédiaire entre idée et notion.

ⁱⁱ Il ne s'agit pas d'une remise en question des points de vue mais d'une comparaison. (N. du T.)

ⁱⁱⁱ en anglais Ideational Confrontation : cette confrontation met en jeu des étudiant qui explicitent des prédictions ou des explications relatives à un phénomène et ainsi débattent des mérites des explications proposées/ Le débat est résolu par le professeur qui montre le phénomène et propose l'explication scientifique.

^{iv} Le mot anglais "misonceptions" a été conservé, il signifie des conceptions erronées par rapport aux conceptions scientifiques

^v Parcimonie est ici la traduction de "parsimony" qui dans ce contexte signifie l'économie d'expression