

ÉTUDES

COMMENT AIDER L'ÉLÈVE À SURMONTER LES REPRÉSENTATIONS PRÉOPÉRATOIRES

Lorsque l'objet scientifique doit « contredire un passé »

par Jacques Désautels et Bernard Lauzon
membres du Groupe de recherche sur la culture
scientifique scolaire à l'Université Laval

Dans le précédent numéro de *Prospectives* (vol. 23 n° 4, décembre 1987), Jacques Désautels et Marie Larochelle ont exposé leurs « positions portant sur la nature du savoir scientifique et sur la socialité de la science, c'est-à-dire les éléments de la grille conceptuelle à l'aide de laquelle (ils ont) interprété les discours des programmes et ceux des élèves au sujet de la science » (*Situation de l'enseignement des sciences : bilan et perspectives*, p. 161). Rejetant les théories qui assimilent l'acte de connaissance — scientifique comme ordinaire — à la saisie par le sujet d'un objet jusque-là séparé et indépendant de lui, les auteurs souscrivent à une épistémologie relativiste voisine de celle de Jean Piaget. Cette conception implique, en particulier, que l'objet scientifique doit être construit (ou reconstruit) plutôt que simplement découvert (ou redécouvert). Cette fois, Jacques Désautels et Bernard Lauzon démontrent que même les élèves ayant « accédé à la pensée opératoire formelle » — selon l'expression des milieux québécois d'éducation — ont besoin d'une aide spéciale pour renoncer à leurs modes primitifs de « représentation du monde ». Cette leçon de pédagogie est extraite de l'ouvrage suivant :

Jacques Désautels et Bernard Lauzon : *L'énigmatique : guide pédagogique*. Sainte-Foy, Centre d'enseignement et de recherche en informatique Clément-Lockquell, 1987. Ce guide se rattache à un logiciel visant à développer certaines capacités précises et généralement sous-estimées à l'égard de *situations énigmatiques*, analogues aux vrais problèmes scientifiques. On se renseigne chez l'éditeur, au 2410, chemin Sainte-Foy, Sainte-Foy (Québec) G1V 1T3.

L.G.

Nous avons jusqu'ici examiné brièvement certaines conditions qui prévalent dans les changements conceptuels observés au cours du développement historique de la production du savoir scientifique. Nous avons également rapporté le fait que les élèves de tout âge continuent à utiliser des explications et des formes de raisonnement héritées de la tendre enfance et ce, malgré l'enseignement scientifique. Nous formulerons dans les quelques pages qui suivent un certain nombre de principes à partir desquels nous avons élaboré la stratégie pédagogique présentée dans ce guide.

1. L'assimilation des concepts, des lois et des théories scientifiques est un processus au cours duquel l'individu construit l'objet de connaissance.

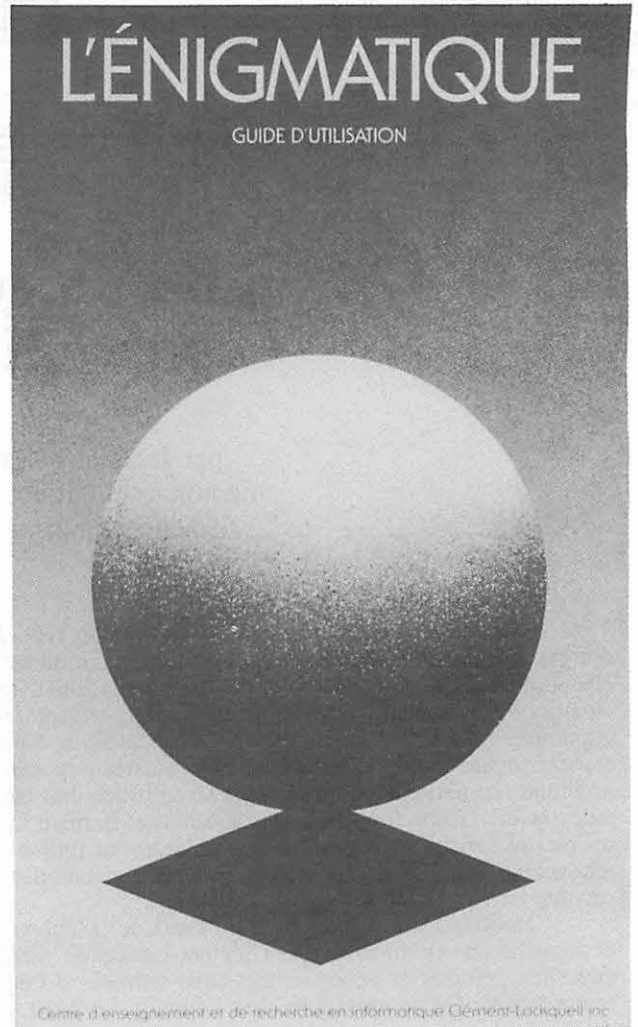
La perspective que nous adoptons, du point de vue de l'activité intellectuelle d'un sujet connaissant, est nettement interactionniste, voire piagétienne. En effet, la caractéristique fondamentale de la théorie de Jean Piaget tient à la reconnaissance du rôle constitutif des activités du sujet dans l'acte de connaître. Par l'introduction de propriétés que les objets de connaissance ne possèdent pas en eux-mêmes, le sujet connaissant enrichit ainsi sa connaissance de l'objet à partir de ses actions sur celui-ci. Celles-ci lui permettront donc d'assimiler l'objet de connaissance à ses structures cognitives et conceptuelles. En retour,

l'objet de connaissance agit sur le sujet connaissant, puisqu'il n'est pas assimilable par n'importe laquelle structure et oblige en conséquence le sujet connaissant à des accommodations cognitives ou conceptuelles.

Il ne faudrait pas se méprendre ici et penser que l'interaction se manifeste entre un sujet connaissant et un objet de connaissance qui lui serait extérieur, ce qui supposerait, par exemple, que le concept de masse est dans les objets qui nous entourent. Comme nous l'avons vu, le concept de masse résulte d'une construction intellectuelle et acquiert un sens dans un réseau de relations conceptuelles. Aussi, quand nous parlons d'objet de connaissance, il s'agit bel et bien de ces constructions intellectuelles, et celles-ci ne sont assimilées par le sujet que s'il les reconstruit, s'il les réinvente par lui-même et pour lui-même. En ce sens, nous ne pouvons donc pas transmettre des connaissances, nous ne pouvons que créer des contextes pédagogiques favorisant la mise en œuvre de démarches de connaissance relativement autonomes. Et les enseignants que nous sommes aurai-ent intérêt à méditer cette pensée de Bachelard :

Les professeurs de sciences s'imaginent que l'esprit commence comme une leçon, qu'on peut toujours refaire une culture nonchalante en redoublant une classe, qu'on peut faire comprendre une démonstration en la répétant point par point¹.

La théorie piagétienne du fonctionnement cognitif² est construite sur les bases d'une épistémologie constructiviste, et s'adapte donc tout naturellement au discours que nous avons développé dans les pages précédentes. Toutefois, nous voudrions effectuer une distinction peu habituelle entre, d'une part, la structure cognitive, c'est-à-dire l'ensemble des opérations intellectuelles que peut mettre en œuvre une personne à un stade donné de son développement cognitif et, d'autre part, la structure conceptuelle, c'est-à-dire les postulats épistémologiques conscients et inconscients qui sous-tendent le réseau organisé des concepts et à l'aide desquels la personne construit des représentations. Cette distinction ne suppose pas qu'il soit possible d'isoler de manière étanche ces deux structures. Mais, étant donné, comme nous l'avons vu, que l'on peut être parvenu au stade formel du développement cognitif et raisonner de manière hypothético-déductive, tout en ayant une conception aristotélicienne du mouvement, cette distinction permet de souligner l'importance des connaissances acquises préalablement par une personne, dans ses démarches cognitives d'assimilation des concepts, des



lois et des théories scientifiques. De nouveau, Bachelard nous rappelle que nous n'avons pas :

... réfléchi au fait que l'adolescent arrive dans la classe de (sciences) avec des connaissances empiriques déjà constituées : il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne... Accéder à la science c'est spirituellement rajeunir, c'est accepter une mutation brusque qui doit contredire un passé³. (L'italique est de nous.)

2. Tout changement conceptuel suppose la résolution d'un conflit cognitif chez le sujet connaissant

La notion de déséquilibre cognitif est fort importante dans la perspective didactique que nous développons. Au plan de la psychologie cognitive, Jean Piaget propose un modèle qui présente le fonctionnement intellectuel comme une succession de déséquilibres et de rééquilibrations, dans un pro-

cessus général d'adaptation de l'individu dans ses interactions avec l'environnement. Dans cette ligne d'idées, le concept d'équilibre est d'une importance capitale pour l'explication du fonctionnement intellectuel. Mais comme le souligne Piaget :

... il est utile de préciser dès maintenant que nous ne concevons nullement l'équilibre psychologique à la manière d'une balance de forces en un état de repos, mais le définirons très largement par la compensation due aux activités du sujet en réponse aux perturbations extérieures... L'important, pour l'explication en psychologie, n'est donc pas l'équilibre en tant qu'état, mais le processus même d'équilibration⁴. (L'italique est de nous.)

Au cours de ses interactions avec l'environnement, tout individu rencontrera des situations comportant des différences par rapport à ses attentes. Par exemple, la première fois qu'une personne prend des mains d'une autre un béccher contenant du mercure, elle ne s'attend pas généralement à ce que cet objet soit si lourd, et cette différence peut conduire à la formalisation d'un conflit cognitif exprimé sous la forme de questions telles que : pourquoi est-ce aussi lourd ? Quelle est la nature de ce liquide ? Au cours d'une recherche récente, Françoise Ruel⁵ a pu observer des situations où manifestation des adolescents ont vécu des déséquilibres cognitifs. Elle leur demandait de préciser leurs attentes, c'est-à-dire d'effectuer des prédictions dans un certain nombre de situations dont la suivante : si on laisse tomber d'une même hauteur deux objets, l'un ayant une masse de cinq cents grammes et l'autre de mille grammes, ceux-ci parviendront-ils au sol en même temps ou l'un des deux atteindra-t-il le sol avant l'autre ? (La chercheuse montrait réellement les objets et mimait la situation.) Pour une grande partie des sujets interrogés, il y eut différence entre les prédictions et ce qu'ils perçurent, car ils s'attendaient à ce que la masse la plus grande atteigne le sol la première (ce qui est par ailleurs étonnant pour des élèves qui avaient étudié en classe ces phénomènes). Voilà des exemples de perturbations dont l'origine est extérieure au sujet connaissant, et qui sont susceptibles de donner lieu à des déséquilibres cognitifs, ce qui sous-entend que toutes les perturbations n'ont pas leur origine à l'extérieur du sujet connaissant et qu'elles ne se transforment pas toutes en déséquilibres cognitifs. Cette dernière remarque appelle à tout le moins un bref commentaire.

En effet, l'origine de la perturbation peut fort bien résulter de l'activité réflexive d'un sujet connaissant et, dans ce cas, Piaget⁶ parlera d'une perturbation

virtuelle. Dit autrement, c'est le sujet qui, en pensant, formule des questions perturbatrices. Par ailleurs, si certaines situations peuvent être source de perturbations pour les uns, elles ne le sont pas pour les autres et ce, en fonction de l'histoire et des intérêts intellectuels de chacun. Dans certains cas, les personnes refouleront tout simplement la perturbation pour une foule de motifs. Dans d'autres cas, les personnes sont tellement sous l'emprise de leur paradigme qu'elles ne percevront⁷ même pas les différences qui font la différence, comme le dirait Bateson⁸. Enfin, pour certains, il y aura conflit cognitif seulement à la suite d'une série de perturbations reliées à un même thème, comme a pu le constater Françoise Ruel dans les travaux de recherche que nous avons évoqués.

Malgré un enseignement relativement long des sciences, les personnes utilisent, dans leurs explications des phénomènes naturels, des représentations construites dès l'enfance. Afin de corriger au moins partiellement cette situation, nous estimons qu'il est nécessaire d'induire chez les personnes des déséquilibres cognitifs.

Mais, en tout état de cause, ce n'est que dans la mesure où il y aura présence d'un déséquilibre cognitif chez une personne, que celle-ci mobilisera l'énergie nécessaire à la rééquilibration qui suppose la mise en œuvre d'activités cognitives.

Sur le plan pédagogique, les leçons à tirer de cette réflexion sur le concept de conflit cognitif sont trop nombreuses pour que nous puissions en faire état dans ce document. Nous voudrions cependant, avant d'aborder cette question, faire un lien entre ce concept et l'histoire des sciences. *Les scientifiques créateurs* qui ont participé à l'élaboration de la science

**Accéder à la science, c'est
spirituellement rajeunir, c'est accepter
une mutation brusque qui doit
contredire un passé.**

Bachelard.

moderne étaient motivés dans leur travail et les sources de cette motivation étaient sans doute diverses (puissance, honneurs, satisfaction intellectuelle, etc.). Toutefois, on ne peut négliger le fait qu'ils étaient également motivés par le conflit cognitif qui les habitait, et c'est probablement en référence à celui-ci que Bachelard disait :

C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit⁹.

D'ailleurs, lorsqu'on y pense un tant soit peu et que l'on examine notre propre histoire intellectuelle, ne doit-on pas reconnaître que c'est au moment où l'on s'est approprié une question et où on l'a fait sienne que l'on a vraiment progressé sur la voie de la connaissance ? Pourquoi alors n'en serait-il pas de même pour nos élèves ?

Nous avons vu en début de chapitre que, malgré un enseignement relativement long des sciences, les personnes utilisent, dans leurs explications des phénomènes naturels, des représentations construites dès l'enfance. Afin de corriger au moins partiellement cette situation, nous estimons qu'il est nécessaire d'induire chez les personnes des déséquilibres cognitifs. À cette fin, dans une première étape, il faut amener l'élève à formuler sa conception d'un phénomène, puis à prévoir ce qui se déroulera dans diverses circonstances. Dans une seconde étape, on place l'élève dans une situation qui contredit ses hypothèses. On sait, par exemple, que dans leur conception du mouvement, les élèves soutiennent que si une force constante est appliquée sur un mobile, ce dernier se déplacera à vitesse constante. Ils tiendront alors pour probable qu'un chariot sur lequel on exerce une force constante filera à vitesse constante. Cette hypothèse sera contredite dans la situation suivante : dans une

grande salle, tel un gymnase, les élèves sont invités à tour de rôle à exercer une force constante sur un chariot dans lequel on a placé un bloc de ciment, en maintenant un élastique allongé à la même longueur. Ils percevront alors qu'il leur est nécessaire de courir de plus en plus vite pour maintenir l'élongation de l'élastique constante et éviter que le chariot ne les rattrape ! Comment alors expliquer ce fait qui contredit leurs hypothèses ? De façon similaire, on peut demander à des élèves de prévoir la température finale de mélanges d'eau dans les cas suivants : même température initiale et même volume d'eau, températures initiales différentes et même volume d'eau, même température initiale et volumes d'eau différents, températures initiales différentes et volumes d'eau différents. La plupart d'entre eux seront surpris de constater que la mesure de la température ne correspond pas à leurs prévisions, car pour eux un mélange de deux volumes d'eau égaux à 10°C donnera de l'eau à 20°C. Comment de nouveau interpréter ces résultats qui ne correspondent pas à leurs prévisions ? En somme, cette stratégie vise à faire prendre conscience aux élèves des différences qui existent entre leurs prévisions et ce qu'ils peuvent observer, et à créer ainsi un déséquilibre cognitif, source de discussion et de remise en question des conceptions initiales. Cette stratégie a d'ailleurs été exploitée de manière fructueuse par Stavy et Berkovitz dans le but d'enseigner le concept de température :

D'après nos résultats, l'exploitation des conflits dans l'enseignement a assuré aux enfants une meilleure compréhension du concept de température, soit en apprentissage individuel, soit en classe : dans les deux cas, ils ont pris conscience, grâce à ce procédé, de l'existence d'un conflit en eux-mêmes. Or, ce qui s'oppose alors, ce sont deux systèmes de représentation — le qualitatif-intuitif et le quantitatif-numérique — auxquels ils ont recours pour décrire la température. L'exploitation du conflit tire avantage de ce qu'à un certain âge et pour certains aspects de la température, le savoir qualitatif des enfants est tout à fait correct : en tablant là-dessus, on les incite à se servir de ce qu'ils savent déjà afin de résoudre un problème sous forme numérique¹⁰.

Notons que la lecture du premier chapitre du présent guide vous aura sans doute permis d'identifier de nombreuses situations où il est possible d'exploiter une telle stratégie.

3. Il existe des changements conceptuels qui exigent la mise en œuvre d'un dérangement épistémologique.

Nous avons ailleurs défini le concept de dérangement épistémologique¹¹ en tant que réflexion critique sur la science. Sur le plan de l'apprentissage des concepts, des lois et des théories, le dérangement se traduit par un déséquilibre cognitif ayant pour objet les prémisses épistémologiques qui sous-tendent les explications des élèves. Comme nous avons essayé de l'indiquer dans les sections précédentes, l'assimilation de certains concepts en science par les élèves exige en effet qu'ils remettent en question les suppositions implicites qui soutiennent leurs explications. La technique du questionnement épistémologique illustrée dans le chapitre 1 est alors utile dans notre tâche de pédagogue pour provoquer les changements conceptuels que nous souhaitons voir apparaître chez nos élèves.

Si *L'Énigmatique* s'avère un outil précieux dans l'induction de ce type de déséquilibre cognitif, il est toutefois possible de mettre en œuvre des stratégies complémentaires. On peut, par exemple, demander aux élèves de produire une carte représentant une portion de territoire qui leur est connue, tel le terrain de l'école ou celui de la maison où ils habitent. Par la suite, il s'agit d'amorcer une discussion qui vise à faire prendre conscience à l'élève de la nature du savoir représenté par la carte. Y a-t-il identité entre les éléments représentés sur la carte et ceux qui font partie du territoire ? La carte peut-elle rendre compte de la complexité du territoire, ou de la dynamique des phénomènes ? La carte est-elle le territoire ? Les discussions qui pourraient résulter d'une telle interrogation visent à faire prendre conscience à l'élève que le savoir généré par une carte géographique est de nature abstraite et s'adresse donc directement au rapport qui existe entre le savoir et ce que nous nommons la réalité. De manière similaire, on peut, après coup, discuter du rapport qui existe dans l'équation $F = ma$, entre la force et ce que l'on peut observer au moment où quelqu'un pousse un objet. Quel rapport existe-t-il entre le vecteur et la poussée ? Il va sans dire qu'il s'agit d'une stratégie pédagogique qui convient davantage aux élèves qui terminent leurs études secondaires qu'à ceux qui les commencent. La difficulté dans cette stratégie consiste finalement à faire de la philosophie pratique avec des élèves du secondaire. Cela n'est pas impossible, si l'on se rappelle que les adolescents de 15 à 18 ans traversent une période traditionnellement appelée « période de la métaphysique ». Mais aussi surprenant que cela puisse paraître, la petite Catherine a pu prendre cons-

**S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique.
Rien ne va de soi. Rien n'est donné.
Tout est construit.**

Bachelard.

science que sa connaissance des objets qui l'entouraient résultait de sa perception et qu'elle ne pouvait donc les connaître qu'à l'aide de représentations ; ce qui ne l'empêche pas de jouer avec ses poupées !

Il ne faudrait pas sous-estimer les difficultés intellectuelles associées aux changements conceptuels que nous évoquons plus haut. Louis Leprince-Ringuet, physicien contemporain et non le moindre, disait au sujet de la mécanique quantique :

Je l'ai moi-même enseignée pendant plus de trente ans aux élèves de l'École Polytechnique, mais j'avoue sans honte que je ne l'ai jamais parfaitement comprise et je pense que la plupart des enseignants sont comme moi. Je suis sûr que les élèves s'y habituent plus vite et plus profondément¹².

La stratégie du dérangement épistémologique que nous avons longuement illustrée dans le premier chapitre s'inspire des principes que nous venons d'élaborer. Ces derniers sont en relation avec la notion de changement conceptuel chez l'individu dans le cadre d'un enseignement des sciences. Le dernier principe que nous énoncerons et commenterons brièvement a trait à la dimension collective des procès de production des connaissances scientifiques.

4. Le développement d'une pensée critique exige que les élèves vivent des expériences collectives de production de connaissances

Au cours d'entrevues que nous avons réalisées avec des élèves, nous leur avons demandé de commenter la situation hypothétique suivante. Supposez que vous êtes un individu isolé n'ayant pas de contacts sociaux, comment sauriez-vous que les connaissances que vous construiriez ne seraient pas illusives ? Peu familiers avec ce genre de question, ils ont souvent répondu qu'il s'agissait d'être systématique et de suivre la méthode scientifique. Ils ont répondu ce que l'on enseigne souvent à savoir qu'il

existe une méthode (O-H-E-R-I-C)* qui permet à coup sûr de construire des connaissances vraies.

Nous avons, dans les sections qui précèdent, discuté longuement de ces questions ; qu'il nous soit permis d'ajouter quelques commentaires. Il suffit en effet de poser une question supplémentaire pour désarçonner les protagonistes de la méthode inflexible. Qu'est-ce qui assure que cette méthode, si elle existe, conduit à la connaissance vraie ? Invariablement, la réponse fera référence à une collectivité et donc à un processus social. En conséquence, il s'agit là de la reconnaissance explicite du caractère inévitablement socio-historique de toute production de connaissances scientifiques. Entendons-nous : il ne s'agit pas de penser pour autant que la connaissance produite est arbitraire et volatile et que le processus de construction est totalement irrationnel. Ce qui, de fait, assure de bonnes productions de connaissances tient à la rigueur des argumentations, au respect des critères de validité et à l'examen collectif des solutions proposées, en sachant par ailleurs qu'il n'y a aucune garantie absolue contre les erreurs.

Le développement de la pensée critique chez nos élèves ne pourra s'effectuer que s'ils vivent eux-mêmes ce processus collectif. Or, n'en doutons pas, il s'agit d'une démarche exigeante puisqu'ils devront être capables de :

- présenter les arguments qui rendent plausibles leurs explications ;
- préciser les postulats qui sous-tendent ces explications ;
- expliciter et justifier la démarche méthodologique qu'ils ont utilisée.

C'est une démarche qui ne s'apparente en rien à la critique facile du relativisme nihiliste qui postule que tout est relatif et arbitraire**. La position constructiviste en épistémologie des sciences, tout en affirmant le caractère relatif des connaissances, ne les pose pas comme arbitraires pour autant. En outre, elle ne postule pas l'absence d'une réalité, mais plutôt que la connaissance qu'on en a est toujours une représentation construite dans un contexte socio-historique donné qu'il importe de prendre en considération pour comprendre les tenants et aboutissants de la connaissance produite.

* Observation, hypothèse, expérimentation, résultats, interprétation, conclusion.

** Sauf, bien sûr, ses affirmations !

Le relativisme de la pensée scientifique ne s'apparente en rien à la critique facile du relativisme nihiliste, qui postule que tout est arbitraire.

5. En guise de conclusion

Il est difficile, voire impossible, de rendre compte en quelques pages d'un phénomène aussi complexe que celui de l'apprentissage des concepts scientifiques. Nous espérons avoir mis en évidence le fait que l'apprentissage des sciences n'est pas seulement un exercice de logique, mais qu'il constitue essentiellement un changement de vision du monde. En ce sens, nous, qui nous préoccupons de la qualité de l'enseignement des sciences, aurions intérêt à nous interroger sur notre propre culture scientifique. Peut-être prendrons-nous conscience qu'à plus d'un point de vue nous sommes demeurés des réalistes naïfs. Alors, peut-être comprendrons-nous que nos élèves ne comprennent pas.

Notes et références citées

1. BACHELARD, Gaston, 1975, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris : Éditions J. Voir, Collection Bibliothèque des textes philosophiques, p. 18.
2. La théorie piagétienne est d'une telle complexité que nous ne prétendons pas dans les pages qui suivent à en présenter un exposé qui lui rende justice.
3. BACHELARD, Gaston, 1975, *op. cit.*, p. 18.
4. PIAGET, Jean, 1971, *Six études de psychologie*, Genève : Éditions Gonthier, Collection Médiations, p. 115.
5. RUEL, Françoise, 1986, rapport de recherche à paraître.
6. PIAGET, Jean, in INHELDER, Barbel et al., 1977, *Épistémologie génétique et équilibration*, Neuchâtel : Éditions Delachaux et Niestlé, Collection Actualités Pédagogiques et Psychologiques.
7. CHAMPAGNE, Audrey B., GUNSTONE, Richard F., KLOPER, Leopold E., 1983, *Naïve Knowledge and Science Learning*, Research in Science and Technological Education, Vol. 1, n° 2 : 173-183.
8. BATESON, Gregory, 1984, (tr. franç.), *La nature et la pensée*, Paris : Éditions du Seuil, Collection Recherches anthropologiques, à la note B du chapitre 1.
9. BACHELARD, Gaston, 1975, *op. cit.*, p. 14.
10. STAVY, Ruth, BERKOVITZ, Baruch, 1980, *Cognitive Conflict as a Basis for Teaching Quantitative Aspects of the Concept of Temperature*, Science Education, 64(5) : 679-692.
11. NADEAU, Robert, DÉSAUTELS, Jacques, 1984, *Épistémologie et didactique des sciences*, Ottawa : Conseil des Sciences du Canada, Collection Exposé à débattre.
12. LEPRINCE-RINGUET, Louis, 1973, *Science et bonheur des hommes*, Paris : Éditions Flammarion, Collection Champs, p. 50.