
Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation

Manuel Bächtold



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/trema/2817>

DOI : 10.4000/trema.2817

ISSN : 2107-0997

Éditeur

Faculté d'Éducation de l'université de Montpellier

Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2012

Pagination : 6-39

ISBN : 1167-315X

ISSN : 1167-315X

Référence électronique

Manuel Bächtold, « Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation », *Tréma* [En ligne], 38 | 2012, mis en ligne le 01 décembre 2014, consulté le 21 décembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/trema/2817> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/trema.2817>

Ce document a été généré automatiquement le 21 décembre 2020.

Tréma

Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation

Manuel Bächtold

I. Introduction

I. 1 L'enseignement des sciences basé sur l'investigation dans les textes officiels

1 Aux Etats-Unis, en France et dans plusieurs autres pays, les textes officiels (plans ministériels, programmes scolaires, etc.) préconisent actuellement un mode d'enseignement des sciences, et en particulier de la physique, qui consiste à faire mener aux élèves une « investigation » visant à apporter des éléments de réponse à une question formulée par les élèves à partir d'une situation de départ mise en place ou décrite par l'enseignant.

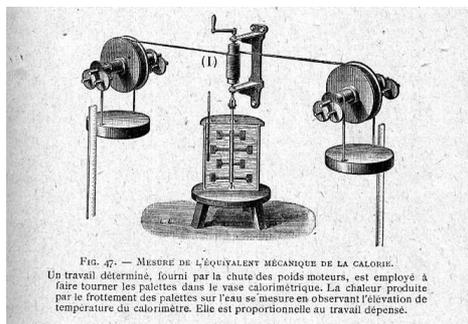


FIG. 47. — MESURE DE L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR.
Un travail déterminé, fourni par la chute des poids moteurs, est employé à faire tourner les palettes dans le vase calorimétrique. La chaleur produite par le frottement des palettes sur l'eau se mesure en observant l'élévation de température du calorimètre. Elle est proportionnelle au travail dépensé.

2 Dans la littérature anglo-saxonne en didactique des sciences, il est fait référence à ce mode d'enseignement par le sigle *IBSE* (*Inquiry-Based Science Education*) ou parfois par le sigle *IBST* (*Inquiry-Based Science Teaching*). Le texte officiel qui constitue la référence en la matière est celui publié aux Etats-Unis en 1996 par le *National Research Council*, il s'agit des *National Science Education Standards*. Ce texte décrit le principe général de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation : « l'investigation de questions authentiques générées à partir des expériences des élèves est la stratégie centrale pour enseigner les sciences »¹ (p. 31). Par « questions authentiques générées à partir des expériences des élèves », il faut comprendre des questions que se posent effectivement les élèves lorsqu'ils sont confrontés à des phénomènes qu'ils observent. Mais comme le souligne Anderson (2007, p. 810), ce texte ne précise pas quelles sont les étapes de cet enseignement et quelle forme particulière doit prendre l'investigation. À cet égard, ce texte reste très ouvert.

3 L'expression *Inquiry-Based Science Education* est parfois traduite en français par l'« enseignement des sciences basé sur la démarche d'investigation » (cf. par exemple Rocard *et al.*, 2007, p. 3). Toutefois, l'*IBSE* ne peut pas être identifié strictement avec ce que l'on désigne en France comme étant « la démarche d'investigation » (ou DI). La DI désigne la démarche pédagogique préconisée dans les textes officiels français des années 2000 pour l'enseignement des sciences de l'école primaire au lycée, suivant les recommandations du « Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école » de 2000 (MEN, 2000) et prolongeant l'opération de « la main à la pâte » lancée en 1996 (cf. Charpak, 1996), elle-même inspirée de l'expérience américaine *Hands On* à Chicago (cf. *ibid.*, p. 8-10). Les étapes à suivre dans cet enseignement par démarche d'investigation ont été décrites de façon très précise dans les programmes de l'école primaire en 2002 (MEN, 2002) et dans ceux du collège en 2005 et 2008 (MEN, 2005, 2008)². À noter que ces étapes ne sont pas toutes réalisées pour toutes les démarches d'investigation particulières proposées et mises en œuvre. En outre, les auteurs des programmes du collège en 2005 et 2008 insistent sur le processus *d'appropriation* du problème par les élèves, un aspect qui n'est pas traité par tous les auteurs préconisant l'*IBSE*. La DI devrait donc être considérée plutôt comme une déclinaison particulière de l'*IBSE*, et ce, au même titre que le modèle « investigation-structuration », développé par l'INRP dans les années 1970 et 1980 (cf. par exemple Host et Martinand, 1975, et Martinand *et al.*, 1980) et ayant inspiré les programmes officiels français de l'époque. Dans ce qui suit, notre attention ne portera pas sur la DI en particulier, ni sur les similarités et les différences de celle-ci avec les autres déclinaisons de l'*IBSE* dans les programmes d'autres pays (à ce propos, cf. Coquidé *et al.*, 2009, Dell'Angelo, Coquidé et Magneron,

2012), mais sur le mode d'enseignement des sciences basé sur l'investigation *au sens générique*, que nous désignerons dorénavant par le sigle anglais *IBSE*.

- 4 Pourquoi les enseignants devraient-ils faire mener aux élèves une investigation plutôt que d'exposer directement les connaissances établies par les scientifiques ? Plusieurs raisons sont invoquées par les textes officiels : donner le goût des sciences ; donner une image authentique du fonctionnement des sciences, et ce notamment, pour préparer les futurs scientifiques et/ou les futurs citoyens qui prendront part aux débats de société impliquant les sciences et les technologies ; enfin, pour faire acquérir aux élèves les connaissances scientifiques (cf. *National Research Council*, 1996, *La main à la pâte et al.*, 2002, MEN, 2002, 2008, 2010a, 2010b, Rocard *et al.*, 2007, OCDE, 2011).
- 5 Attardons-nous ici sur la dernière raison : l'*IBSE* est préconisé parce qu'il est considéré comme supérieur au mode d'enseignement expositif (ou magistral) pour faire acquérir aux élèves les connaissances scientifiques. En effet, l'*IBSE* repose sur l'hypothèse selon laquelle les élèves apprennent et comprennent les connaissances scientifiques s'ils sont actifs physiquement (avec leurs mains, d'où l'expression anglaise *hands on*, signifiant littéralement « les mains dessus » et que Charpark *et al.*, 1996, ont traduit par « la main à la pâte ») et intellectuellement (*minds on*), ce que le *National Research Council* (1996, p. 20) résume par le slogan : « apprendre la science est quelque chose que les élèves font, pas quelque chose qui leur est fait »³. *La main à la pâte et al.* (2002, p. 16) expriment la même idée en ces termes : « on apprend par l'action, en s'impliquant ». L'activité manipulative menée par les élèves à l'occasion d'une investigation leur permet de confronter les connaissances scientifiques au « réel » (MEN, 2008, p. 4). Cette investigation engage également les élèves dans une activité intellectuelle faite d'un questionnement face à un phénomène apparaissant problématique, d'émission d'hypothèses et, à l'issue de l'investigation, de l'établissement de nouvelles connaissances avec l'aide de l'enseignant. Ce cheminement intellectuel suivi par les élèves est supposé leur permettre de « construire » eux-mêmes les connaissances scientifiques. Le *National Research Council* (1996, p. 29) écrit ainsi : « les élèves devraient être initiés à la science d'une manière qui les engage dans la construction active d'idées et d'explications »⁴ (*National Research Council*, 1996, p. 121). Dans le même esprit, les programmes français du collège de 2005 et 2008 (MEN, 2005, p. 6, 2008, p. 4) parlent d'une « démarche qui privilégie la construction du savoir par l'élève ».

I. 2 Une approche constructiviste... mais quel constructivisme ?

- 6 Parce qu'il est supposé rendre possible la *construction* des connaissances scientifiques par les élèves, l'*IBSE* est communément qualifié de « constructiviste ». Le constructivisme est aujourd'hui considéré comme l'une des principales approches en didactique des sciences, si ce n'est l'approche dominante (cf. par exemple Matthews, 1997, p. 5). Cependant, que recouvre exactement le terme « constructivisme » ? De quel constructivisme parle-t-on en didactique des sciences, et en particulier, s'agissant de l'*IBSE* ? La réponse n'est pas simple étant donnée l'existence de « multiples formes de constructivismes » (Good, 1993, p. 1015). Différentes classifications de ces formes de constructivismes ont été avancées (Gale, 1995, Nola, 1997, Matthews, 2000, Bächtold, 2012). Nous inspirant de celles-ci, nous proposons la classification et les définitions suivantes (celles-ci sont quelque peu

schématiques et sans doute réductrices, mais permettent de fixer les idées pour les développements qui suivent) :

- le *courant constructiviste en psychologie du développement cognitif*, selon lequel le sujet cognitif construit des connaissances afin de décrire et prédire ses expériences personnelles lors de ses interactions avec son environnement à la fois physique et social ;
- le *courant constructiviste en épistémologie*, selon lequel les scientifiques construisent les connaissances afin de décrire et prédire l'ensemble des phénomènes survenant ou pouvant survenir lors de notre interaction avec le monde⁵ ;
- et le *courant constructiviste en didactique des sciences*, selon lequel l'enseignant propose aux élèves des activités qui leur permettent de construire les connaissances à apprendre.

7 L'*IBSE* a été conçu par les représentants du courant constructiviste dans le domaine de la didactique des sciences. Pour autant, la conception de ce mode d'enseignement n'est pas sans lien avec les domaines de la psychologie du développement cognitif et de l'épistémologie. Bien au contraire, elle puise ses fondements théoriques dans ces domaines, comme en témoignent les références récurrentes des didacticiens des sciences promoteurs de l'*IBSE* à des auteurs tels que Piaget, Vygotsky ou Bruner, pour ce qui est du domaine de la psychologie du développement cognitif, et Dewey, Bachelard ou Kuhn, pour ce qui est de l'épistémologie. Comment ces multiples sources théoriques, qui de prime abord apparaissent très hétéroclites, s'articulent-elles et concourent-elles à la conception d'un même mode d'enseignement des sciences, à savoir l'*IBSE* ? Dans cet article, nous proposons une synthèse de la littérature afin d'apporter des éléments de réponse à cette question. Notre objectif est d'identifier les différentes sources d'influence du « constructivisme » qui sous-tend l'*IBSE* et de déterminer la façon dont chacune d'elles s'exerce. Nous nous attacherons également à expliciter ce que les élèves sont supposés « construire » au cours d'un tel enseignement suivant les différents auteurs étudiés.

II. Les influences multiples de la psychologie du développement cognitif

8 Les conceptions des élèves et le processus de conflit cognitif sont deux ingrédients essentiels de l'approche constructiviste en didactique des sciences et en particulier de l'*IBSE*. Nous allons voir dans cette partie de quelle manière ils ont été puisés dans le domaine de la psychologie du développement cognitif.

II. 1 La théorie piagétienne du développement cognitif

9 Les travaux de Piaget constituent sans nul doute la source d'influence majeure du courant constructiviste en didactique des sciences au niveau international. Pour comprendre comment cette influence s'est exercée, nous proposons d'abord de distinguer plusieurs aspects de la contribution de Piaget, avant d'examiner la manière dont chacun d'eux a été repris ou écarté en didactique des sciences.

II. 1. 1 Les différents aspects des travaux de Piaget

- 10 Opérons une première distinction. D'une part, Piaget a mené de très nombreuses études empiriques mettant en lumière les capacités sensorielles, motrices et intellectuelles ainsi que les conceptions des enfants aux différents âges, de la naissance à l'adolescence, en identifiant des « stades ». D'autre part, il a développé *une théorie du développement cognitif* orientant ces études empiriques et visant à en expliquer les résultats.
- 11 Opérons une seconde distinction. Au niveau de cette théorie, trois éléments peuvent être distingués. Premièrement, Piaget a décrit le *mécanisme général du développement cognitif de l'enfant* en termes de « déséquilibre » et d'« accommodation » (cf. par exemple 1977a [1936], 1977b [1937], Piaget et Inhelder, 1966). Plus précisément, selon lui, l'enfant « construit » spontanément et inconsciemment des « structures cognitives » pour mettre en ordre ses expériences et anticiper les effets des actions qu'il mène dans son environnement physique et social. Si elles le peuvent, les nouvelles expériences sont « assimilées » par les structures cognitives de l'enfant, c'est-à-dire intégrées à elles en les faisant évoluer de façon graduelle. Lorsque de nouvelles expériences ne peuvent pas rentrer dans le moule de ces structures, ces dernières provoquent un « déséquilibre », elles perturbent l'enfant sur le plan cognitif. Toujours spontanément et inconsciemment, l'enfant va alors progressivement remplacer certaines parties de ces structures cognitives et les réorganiser (ce processus d'adaptation ne s'opérant pas subitement mais sur le long terme). Piaget désigne ce processus d'adaptation par les termes « accommodation » ou « équilibration ».
- 12 Un second élément de sa théorie du développement cognitif est la *description précise des structures cognitives sous-jacentes*, de leur nature et de la façon dont l'enfant les construit. D'après Piaget, les concepts ou « schèmes » de l'objet permanent, de l'espace, du temps, etc. sont construits sur la base de « structures logico-mathématiques ». Ces dernières sont elles-mêmes construites à partir des actions menées par l'enfant et intériorisées par lui sous formes d'« opérations » mentales. Plus précisément, ces opérations sont reliées par l'enfant par des propriétés d'associativité, de réversibilité, d'identité, etc., de sorte à former une structure de groupe au sens mathématique. Un objet, une longueur ou une masse ne sont rien d'autre, selon Piaget, que la réification des invariants de tels groupes (cf. 1973 [1949], chap. V).
- 13 Enfin, un troisième élément de cette théorie du développement cognitif réside dans les liens étroits qu'elle entretient avec l'épistémologie. Laissant de côté la question épistémologique de la nature de la connaissance en général (ce qu'elle est et comment elle est possible), Piaget entend apporter des éléments de réponse à la question épistémologique de la genèse concrète des connaissances scientifiques (comment elles se constituent et évoluent). Ces éléments de réponse, il estime pouvoir les trouver dans ses études empiriques sur le développement cognitif de l'enfant (cf. 1970, p. 14, 34 et 38).
- 14 Réciproquement, l'épistémologie dite « génétique » influence sa théorie du développement cognitif, et ce, de deux manières. D'abord, Piaget défend une conception évolutionniste de la connaissance scientifique selon laquelle celle-ci résulte d'un processus d'« adaptation de la pensée à la réalité » (*ibid.*, p. 35). C'est dans ce cadre de pensée épistémologique qu'il conçoit le mécanisme général du développement cognitif de l'enfant en termes de déséquilibre et d'accommodation. Ensuite, parce que le ressort du développement cognitif de l'enfant est le même que celui du développement des

connaissances scientifiques dans l'histoire de l'humanité, à savoir l'adaptation au réel, il existe entre les deux un « parallélisme ». Ainsi, l'histoire des sciences peut fournir des informations indicatives sur le développement cognitif possible d'un enfant à propos de certains concepts scientifiques (cf. 1973 [1949], p. 13 et 104-105 et Piaget et Garcia, 1983, p. 39 et 131).

- 15 Il convient de souligner que pour Piaget, l'école ne joue qu'un rôle secondaire dans le développement cognitif de l'enfant : « l'école peut ignorer ou favoriser [ce développement] selon les méthodes employées » (1969, p. 61-62). En dernière instance, c'est l'enfant lui-même qui construit ses structures cognitives et les révisé pour les adapter à ses expériences nouvelles.
- 16 Examinons à présent de quelle manière ces différents aspects des travaux de Piaget ont été exploités en didactique des sciences et contribué à la formation du courant constructiviste dans ce domaine. En première approche, nous avons présenté ces travaux de Piaget comme une source d'influence provenant du domaine de la psychologie du développement cognitif. Toutefois, nous venons de le voir, il existe une interdépendance entre la théorie du développement cognitif de Piaget et ses propres conceptions à propos de la construction et de l'évolution des connaissances scientifiques (son épistémologie). En seconde approche, il convient donc de reconnaître que les travaux de Piaget constituent une source d'influence dont le domaine de provenance est aussi l'épistémologie. Dans ce qui suit, nous chercherons, lorsque cela est possible, à dissocier les deux domaines de provenance.

II. 1. 2 Les conceptions des élèves

- 17 En premier lieu, ce sont les études empiriques de Piaget sur les conceptions des enfants qui, dans les années 1970 et 1980, ont fortement influencé les recherches en didactique des sciences, domaine alors en phase d'émergence (Driver et Easley, 1978). Elles ont permis de mettre en évidence l'existence de ces conceptions qui sont « construites » par les enfants, le fait qu'elles sont généralement opératoires pour les expériences vécues par l'enfant et le fait qu'elles évoluent aux différents âges de l'enfant. Elles ont également fourni des premiers résultats sur un ensemble de conceptions particulières (sur l'espace, le temps, la conservation de la quantité de matière, la force...), constituant un point de départ pour les études ultérieures menées par les didacticiens. Nombre d'entre eux, cependant, n'ont pas endossé les explications théoriques de ces résultats avancées par Piaget, en l'occurrence ni sa description du mécanisme général du développement cognitif de l'enfant, ni sa description précise des structures cognitives sous-jacentes. C'est ce que souligne Driver et Easley (1978, p. 64 et 79) dans un article faisant la synthèse à la fin années 1970 des premières recherches sur les conceptions des élèves en didactique des sciences :
- 18 Le fait que certains didacticiens des sciences ont poursuivi les recherches de Piaget sur les conceptions sans reprendre son approche théorique peut s'expliquer par un changement d'orientation : alors que Piaget s'appuyait sur les conceptions explicites des élèves comme un moyen d'accès aux structures cognitives dans le contexte d'expériences de la vie quotidienne, les didacticiens des sciences considéraient ces conceptions (et les considéraient toujours) comme ce à quoi les connaissances scientifiques enseignées sont confrontées dans le contexte de la classe. En raison de ce changement d'orientation, non seulement le cadre théorique de Piaget, mais aussi la terminologie associée pouvaient

être considérés comme inadaptés. C'est ce que pense Solomon (1994, p. 3) qui attire l'attention sur le « succès énorme » de l'article de Driver et Easley, lequel serait dû au fait qu'il « créa les outils pour accélérer l'essor du constructivisme en didactique des sciences ». En particulier, cet article aborde les conceptions des élèves en les comparant aux connaissances scientifiques acceptées : elles sont des conceptions « alternatives » construites par les élèves. Ces auteurs ont ainsi forgé l'expression *alternative frameworks* pour désigner ces conceptions, laquelle a été largement reprise en didactique des sciences (en l'état ou transformée en *alternative conceptions*).

- 19 La connaissance des conceptions récurrentes des élèves, qu'il s'agisse d'aspects généraux des conceptions (tels que la tendance à la substantialisation ou au raisonnement causal séquentiel)⁷ ou de conceptions particulières dans les différents domaines des sciences (mécanique, électricité, états de la matière...)⁸ apparaît essentielle en didactique des sciences. D'une part, ces conceptions sont à prendre en compte pour la transposition didactique des connaissances scientifiques, c'est-à-dire dans le travail de réorganisation et de reformulation de ces connaissances, dont le but est que ces dernières puissent être comprises et intégrées par les élèves. D'autre part, la reconnaissance même de l'existence des conceptions initiales des élèves qui arrivent en classe peut conduire à revoir la stratégie d'enseignement des sciences. En particulier, cet enseignement peut prendre ces conceptions comme point de départ. C'est ce qui est proposé dans l'*IBSE*.

II. 1. 3 La théorie du changement conceptuel

- 20 La théorie de Piaget n'a pas été délaissée en bloc par tous les didacticiens des sciences. Si la *description précise des structures cognitives sous-jacentes* au développement cognitif n'a semble-t-il trouvé chez eux aucun écho (ou presque, cf. §II.1.4), il n'en va pas de même du *mécanisme général du développement cognitif* en termes de déséquilibre et d'accommodation. Celui-ci se retrouve au cœur de la très influente « théorie du changement conceptuel » avancée par Posner *et al.* en 1982, laquelle a été discutée et développée par de nombreux autres auteurs (cf. §III.2). Cette théorie vise à décrire le « processus » par lequel un élève abandonne une conception erronée pour adopter une conception scientifiquement acceptée. La description proposée n'a pas pour objet les structures cognitives sous-jacentes aux conceptions, comme chez Piaget, mais se situe uniquement au niveau des concepts explicites associés aux conceptions. La source d'influence principale de cette théorie est l'épistémologie de Kuhn (cf. plus loin, §III.2). Néanmoins, elle reprend à Piaget l'idée d'« accommodation » (*ibid.*, p. 212) :
- 21 En note de bas de page (*ibid.*, note 4), Posner *et al.* affirment qu'ils ne reprennent pas à Piaget « ses théories ». Nous pouvons interpréter cette note comme une prise de distance vis-à-vis de la théorie piagétienne des structures logico-mathématiques. Cependant, de fait, ces auteurs empruntent à la théorie piagétienne l'idée du mécanisme général du développement cognitif, suivant laquelle c'est l'inadéquation du système conceptuel existant qui motive sa révision.
- 22 Plus précisément, la théorie du changement conceptuel peut se voir selon nous comme une *extension* au cadre scolaire de la théorie piagétienne, cette dernière concernant essentiellement les expériences quotidiennes extrascolaires de l'enfant¹⁰. Toutefois, lors de cette extension, nous pouvons identifier au moins deux aspects nouveaux qui apparaissent avec la théorie du changement conceptuel. Premièrement, dans la vie quotidienne extrascolaire (selon la théorie de Piaget), le processus cognitif de

changement conceptuel est mené de manière spontanée et inconsciente par l'enfant. Il n'en va pas de même dans le cadre scolaire (selon la théorie de Posner *et al.*), où le processus cognitif de changement conceptuel est mené volontairement et consciemment par l'élève. Deuxièmement, dans la vie quotidienne extrascolaire (selon la théorie de Piaget), les conceptions nouvelles que les enfants substituent à leurs conceptions inadéquates sont construites par les enfants eux-mêmes. Tel n'est pas le cas en classe (selon la théorie du changement conceptuel), où les conceptions scientifiques que les élèves substituent à leurs conceptions initiales au terme d'un travail de réorganisation conceptuelle sont introduites par l'enseignant¹¹. Nous reviendrons sur ce rôle joué par l'enseignant au §II.2.3. Nous verrons également plus loin (§III.2), les conditions qui, selon la théorie de Posner *et al.*, doivent être réunies pour que les élèves adoptent les conceptions scientifiques introduites par l'enseignant.

II. 1. 4 Le constructivisme radical

- 23 Une approche en didactique des sciences qui se veut plus fidèle à la théorie de Piaget a été développée par von Glasersfeld (1995, 2005). À noter qu'elle est devenue selon certains « la référence majeure du constructivisme contemporain » (Duit, 1995, p. 274). Elle est d'après nous effectivement plus fidèle à la théorie de Piaget à plusieurs égards. Premièrement, von Glasersfeld fait l'hypothèse que l'élève doit nécessairement construire de lui-même les connaissances pour les apprendre et, par conséquent, préconise un enseignement créant les conditions favorisant cette construction : « la tâche de l'enseignant n'est pas de prodiguer des connaissances, mais d'offrir aux élèves des opportunités et des sources de motivation pour les construire »¹² (2005, p. 7). Deuxièmement, il fait sienne la théorie piagétienne du développement cognitif, non seulement au niveau du mécanisme général en termes de déséquilibre et d'accomodation (à l'instar de la théorie de Posner *et al.*), mais aussi au niveau des structures logico-mathématiques sous-jacentes dont il rappelle l'ancrage dans les actions de l'enfant (cf. 1995, ch. 3), quoique qu'il ne s'attarde pas sur cet aspect. Troisièmement, et là réside sans doute l'originalité de von Glasersfeld dans son utilisation de Piaget en didactique des sciences, il justifie la théorie piagétienne du développement cognitif en soulignant la pertinence du cadre épistémologiste dans lequel elle s'inscrit (cf. *ibid.*, p. 18). La source d'influence piagétienne sur cet auteur a donc comme domaine de provenance non seulement la psychologie du développement cognitif, mais aussi l'épistémologie.
- 24 Cependant, à notre avis, von Glasersfeld ne se contente pas de reprendre l'épistémologie de Piaget, il la « radicalise », pour reprendre sa propre expression. Le « constructivisme radical » dont il se fait l'avocat adjoint à la conception piagétienne de la connaissance comme adaptation, la thèse anti-réaliste (étrangère pensons-nous à Piaget) selon laquelle la connaissance ne peut prétendre décrire la réalité telle qu'elle est en soi :
- 25 Les concepts de changement et d'état, d'espace et de temps et d'un monde dans lequel les choses perdurent et « existent » lorsque nous ne focalisons pas notre attention sur eux [...] ne peuvent pas refléter la réalité ontologique dont rêvent les philosophes traditionnels¹⁴ (1995, p. 88).
- 26 Cette thèse anti-réaliste a fait l'objet de multiples critiques (cf. par exemple Osborne, 1996, Nola, 1997, Matthews, 1997, Kelly, 1997, Martinez-Delgado, 2002, Kotzee, 2010). La principale critique qui, d'après nous, peut être faite à von Glasersfeld est de prétendre

que cette thèse doit être adoptée si l'on veut justifier un enseignement mettant les élèves en posture active de construction des connaissances.

II. 1. 5 L'émergence des conceptions et le conflit cognitif

- 27 En faisant référence ou non à Posner *et al.* ou à von Glaserfeld, de nombreux didacticiens des sciences ont diffusé l'idée piagétienne de « déséquilibre » (expression de Piaget) ou « conflit cognitif » (expression plus courante en didactique des sciences). Un tel conflit survient lorsqu'un phénomène observé ou rapporté à un élève apparaît inexplicable au regard des conceptions qu'il possède, ou comme nous l'avons exprimé plus haut, lorsque ces conceptions se révèlent inadéquates pour rendre compte de ce phénomène. Reconnu comme ce qui motive le changement de conception, le conflit cognitif a été placé par ces didacticiens au point de départ de l'activité d'enseignement, comme dans le cas de l'*IBSE*.
- 28 Dans cette perspective, les conceptions des élèves ne sont pas simplement à connaître en amont de l'enseignement en classe comme une donnée à prendre en compte pour la transposition didactique des connaissances scientifiques. Ces conceptions sont mises en jeu dans le conflit cognitif. Or, d'après ces didacticiens des sciences, pour qu'elles puissent être mises en jeu, elles doivent devenir explicites, c'est-à-dire que les élèves doivent les exprimer d'une manière ou d'une autre (oralement, par un schéma...). Faire émerger (to elicit dans la littérature anglo-saxonne) les conceptions des élèves afin de provoquer le conflit cognitif est un procédé préconisé par la majorité des théories constructivistes du mode d'enseignement des sciences (cf. Baviskar *et al.*, 2009).

II. 1. 6 Le parallèle avec l'histoire des sciences

- 29 Un certain nombre d'études de didacticiens des sciences sur les conceptions des élèves pointe des similarités avec l'histoire des sciences. Par exemple, dans un article très souvent cité, Viennot (1979, p. 213) établit un parallèle entre, d'un côté, la conception récurrente (chez les élèves dans le secondaire et à l'université) suivant laquelle la force se situerait dans les objets eux-mêmes, et de l'autre, la théorie de l'*impetus* (théorie de la dynamique au Moyen Âge, intermédiaire entre celle d'Aristote et celle de Newton). Un autre exemple de parallélisme souvent évoqué est celui concernant la chaleur, laquelle est conçue chez les élèves d'abord comme une substance, comme ce fût le cas chez certains scientifiques dans la première partie du XIXe siècle (cf. Driver, Squires *et al.*, 1994, p. 138).
- 30 Concernant ce procédé de mise en parallèle entre les conceptions des élèves et l'histoire des sciences, certains didacticiens des sciences se sont inspirés des travaux de Piaget (cf. par exemple Martinand *et al.*, 1980, p. 73-74). À cet égard, le domaine de provenance de la source d'influence piagétienne est autant l'épistémologie que la psychologie du développement cognitif, puisqu'il est question ici d'un rapprochement entre ces deux domaines.
- 31 Cette influence doit néanmoins être nuancée. Chez Piaget, cette mise en parallèle s'adosse à une hypothèse forte, celle de l'« unité des lois d'adaptation intellectuelle à l'objet » (1973 [1949], p. 105) : l'évolution des structures de pensée serait identique à l'échelle d'un enfant ou à l'échelle de l'histoire des sciences. C'est une hypothèse que les didacticiens des sciences ont remise en cause. Par exemple, Giannetto (1993, p. 228) estime que les processus de développement cognitif au niveau d'un individu et ceux au niveau de l'histoire des sciences sont « incommensurables ». C'est également ce que soutient Gauld

(1991, p. 135) qui souligne que dans le premier cas, ces processus sont inconscients, alors qu'ils sont conscients, rationnels et contrôlés dans le second cas. Driver, Guesne et Tiberghien (1985, p. 198) font également remarquer que les points communs entre les conceptions des élèves et celles des scientifiques dans l'histoire sont limités et que les premières sont généralement bien moins cohérentes que les secondes.

II. 2 L'interaction sociale : trois aspects à distinguer

- 32 Si Piaget n'a certes pas occulté l'interaction sociale dans le développement cognitif, il ne lui a assigné qu'un rôle secondaire et n'en a pas fait l'objet d'études empiriques. Plusieurs auteurs dans le domaine de la psychologie du développement cognitif, tels que Vygotsky, Bruner, Doise ou Mugny, ont davantage étudié les différents aspects de l'interaction sociale et en sont venus à réévaluer son rôle dans la construction des connaissances par les enfants. Il est commun de parler de « socioconstructivisme » ou de « constructivisme social » à ce propos. Nous pensons néanmoins que cette expression désigne une nébuleuse qui regroupe au moins trois types de processus sociaux que nous proposons ici de bien distinguer : le conflit sociocognitif, la coopération entre élèves et l'acculturation des élèves par l'enseignant.

II. 2. 1 Le conflit sociocognitif

- 33 Dans l'« École de Genève », les travaux de Piaget ont été prolongés sur les aspects sociaux du développement cognitif, notamment par Doise, Mugny et Perret-Clermont. Ces auteurs ont repris à leur compte la description de Piaget en termes de structures logico-mathématiques ainsi que son hypothèse d'après laquelle ces structures qui sous-tendent les processus cognitifs au niveau d'un individu sont identiques à celles qui sous-tendent les interactions sociales impliquant des échanges d'idées (1975, p. 367-368). Leurs études empiriques guidées par ce cadre théorique piagétien les ont conduits à proposer une notion originale, celle de « conflit sociocognitif ». Un tel conflit survient entre les conceptions contradictoires de deux enfants (ou plus) rendues manifestes lors de leurs interactions communicationnelles (cf. Doise et Mugny, 1981, p. 40).
- 34 Cette notion de conflit sociocognitif a inspiré les didacticiens des sciences dans la mouvance constructiviste et se voit mise en œuvre, en particulier, dans l'*IBSE* : la phase de discussion collective conduisant à l'identification du problème à investiguer ou la phase de travail en petits groupes visant à déterminer les hypothèses à explorer sont considérées comme des occasions pour les élèves de faire l'épreuve de conflits sociocognitifs.

II. 2. 2 La coopération entre élèves

- 35 Le conflit sociocognitif présente un intérêt, non seulement parce qu'il peut être le moteur d'un changement de conception (à l'instar d'un conflit cognitif personnel), mais également parce qu'il peut conduire à une coopération entre les élèves. Ces derniers peuvent chercher à dépasser ensemble leurs oppositions, en coordonnant leurs actions et leurs idées, ce qui peut se révéler plus fructueux pour la construction de nouvelles connaissances qu'une investigation menée individuellement. Doise et Mugny (1981, p. 46) décrivent ainsi « la coopération comme un processus social de construction ».

- 36 Les chercheurs en psychologie du développement cognitif ont cependant remarqué que toute interaction sociale n'est pas nécessairement bénéfique (cf. Doise et Mugny, 1981, pp. 176-178, Blaye et Lemaire, 2007, pp. 288-289). Certaines « asymétries » relationnelles peuvent impliquer qu'un enfant cède à l'autre et se soumette à son point de vue. Dans ce cas, le conflit sociocognitif ne donne pas lieu à un progrès au niveau de la connaissance. Une réciprocité et des affinités entre les enfants sont requises pour cela.
- 37 Sans s'appuyer sur l'idée de conflit sociocognitif, Bruner (2008 [1996], pp. 36-39 et 76-81) développe également l'idée d'un apprentissage « coopératif » ou « mutuel ». Cet auteur américain, qui a exercé une grande influence en didactique des sciences, met davantage l'accent sur l'effet bénéfique de l' « entraide » : en groupes, les élèves peuvent s'aider mutuellement, voire se « diviser le travail », et ainsi apprendre plus efficacement.
- 38 Cette coopération est favorisée dans l'IBSE lors de la phase de l'investigation proprement dite laquelle est généralement menée en petits groupes.

II. 2. 3 L'acculturation des élèves par l'enseignant

- 39 Une distinction qui nous semble essentielle a été proposée par Vygotsky (1997 [1934]) entre les « concepts spontanés », ceux que l'enfant construit spontanément et de manière inconsciente à partir de ses propres expériences (ex : espace, temps, causalité...), et les « concepts scientifiques », ceux qui sont des « produits historico-culturels » et que les adultes transmettent aux enfants (ex : force, énergie, intensité du courant électrique...). Ces concepts scientifiques ont été forgés collectivement et souvent sur une longue période de l'histoire humaine, de sorte qu'il paraît inenvisageable qu'un enfant puisse les construire de lui-même isolément et sur une courte période.
- 40 De quelle manière les enfants s'approprient-ils ces concepts ? À ce sujet, la contribution de Vygotsky apparaît déterminante. S'appuyant sur des études empiriques, celui-ci a mis en évidence plusieurs points (1997 [1934]). Les concepts scientifiques sont transmis par les enseignants sous forme de définitions explicites et générales. Par conséquent, les enfants ne les mettent en relation avec des expériences concrètes que progressivement, suivant un mouvement du général au particulier, inverse de celui de la construction des concepts spontanés. Par ailleurs, les enfants sont amenés à travailler avec les concepts scientifiques de manière consciente et volontaire, contrairement aux concepts spontanés dont la manipulation reste inconsciente. Cette activité intellectuelle nouvelle nécessite l'aide des enseignants. Vygotsky souligne en outre que l'appropriation des concepts scientifiques se fait par l'intermédiaire des concepts spontanés, de façon analogue à l'apprentissage d'une langue étrangère par l'intermédiaire de la langue maternelle. Enfin, lors de l'appropriation des concepts scientifiques, c'est tout l'ensemble du système conceptuel, comprenant les concepts spontanés, qui est réorganisé.
- 41 En didactique des sciences, les travaux de Vygotsky ont inspiré plusieurs auteurs. En particulier, dans un article influent, Driver, Asoko *et al.* (1994) critiquent l'approche constructiviste centrée sur les processus de conflit cognitif et de changement conceptuel opéré par une enfant qui interagit avec les objets matériels de son environnement : « ce qui n'est pas considéré de façon substantielle ce sont les interactions des apprenants avec des réalités *symboliques*, les outils culturels de la science »¹⁵ (p. 7). Ces auteurs mettent l'accent sur la « nature discursive » de la connaissance scientifique (p. 11), laquelle est « socialement construite et validée » (p. 6). Pour cette raison, ils conçoivent l'apprentissage des sciences comme un « processus d'acculturation » (p. 8) :

- 42 Dans cette perspective, l'enseignant joue le rôle d'un « médiateur » (p. 6), celui qui rend les connaissances et pratiques scientifiques accessibles aux élèves.
- 43 Avec d'autres co-auteurs, Driver reprend ces idées et insiste sur l'importance d'initier les élèves à la pratique scientifique de la « négociation » des idées, c'est-à-dire de leur évaluation à la lumière des différentes justifications pouvant être avancées par les uns et les autres dans le discours (Driver, Squires *et al.*, 1994, p. 6-8). Ce processus social de la « négociation » des idées scientifiques dans l'échange verbal a également été mis en avant par Bruner (2008 [1996], p. 77) : les élèves apprennent les connaissances scientifiques « non pas à travers l'imitation, pas plus qu'au travers d'instructions didactiques, mais par le discours, la collaboration et la négociation ».

III. Les influences multiples de l'épistémologie

- 44 Pour penser la manière dont l'investigation doit être menée par les élèves, les didacticiens des sciences constructivistes s'inspirent également de la manière dont la recherche est menée par les scientifiques. Quelle exploitation font-ils des travaux en épistémologie¹⁷, dont l'objet précisément est, entre autres, de décrire l'activité scientifique ? C'est ce que nous allons chercher à clarifier dans cette partie.

III. 1 La critique de l'inductivisme

- 45 Faire réaliser aux élèves des expériences en classe n'est pas chose nouvelle dans l'histoire de l'enseignement scientifique. Cependant, les didacticiens des sciences constructivistes préconisant l'IBSE proposent une nouvelle manière de faire mener ces expériences par les élèves et attribuent à celles-ci un rôle nouveau dans l'apprentissage des connaissances scientifiques. Le changement proposé est le résultat d'une évolution dans la conception du fonctionnement des sciences.
- 46 La conception remise en cause par les didacticiens des sciences constructivistes est celle d'un inductivisme « naïf »¹⁸. Selon cette conception, l'expérience précède la théorie, et plus précisément, les théories scientifiques sont des généralisations univoques de données d'observation ou d'expérience elles-mêmes vierges de toute théorie ou de toute conception préalable. Dans le cadre de la classe, l'adoption de cet inductivisme conduit à supposer qu'il suffit de partir de l'expérience pour faire émerger chez les élèves les connaissances à enseigner, comme si les données d'observations et d'expériences étaient porteuses d'informations pouvant être interprétées sans la médiation de connaissances préalables et de manière univoque, c'est-à-dire conduisant nécessairement aux connaissances acceptées.
- 47 Dans le système éducatif français, la conception inductiviste trouve ses racines dans l'épistémologie positiviste en vogue à la fin du XIXe siècle. Elle s'est traduite par « les leçons de choses », l'enseignement des sciences basé sur l'observation qui fut préconisé à l'école élémentaire à partir de 1882 et jusqu'aux instructions officielles de 1957, avant le tournant épistémologique de « l'éveil scientifique » associé aux instructions de 1977 (cf. Kahn, 2000). Plusieurs auteurs ont pointé le fait que, encore aujourd'hui (en France ou ailleurs), les enseignants, lorsqu'on les interroge, adhèrent pour la plupart à la conception inductiviste (cf. Robardet et Guillaud, 1995, chap. 3, Abd-El-Khalik, 2001, p. 221-224, Gil-Pérez *et al.*, 2002, p. 563, Johsua et Dupin, 2003, pp. 215-217, Windschitl, 2004,

p. 503-508, Cariou, 2011, p. 84-86). Toutefois, certaines études ont montré, d'une part, qu'il existe en fait chez les enseignants une diversité de conceptions de la science et de son fonctionnement, et d'autre part, que la conception qui se dégage de l'analyse de la pratique des enseignants n'est pas nécessairement celle à laquelle ils déclarent adhérer (pour une synthèse récente, cf. Pélissier et Venturini, 2012).

- 48 Dans le domaine de l'épistémologie, l'inductivisme naïf a été vivement et unanimement critiqué au cours du XXe siècle. Formulons ici trois objections majeures qui lui ont été adressées. Premièrement, à partir d'expériences passées et en faisant appel à leur imagination, les scientifiques émettent des hypothèses qui les motivent et les guident dans la réalisation de nouvelles expériences, autrement dit, la théorie précède en général l'expérience (point d'abord souligné par Duhem et Bachelard). Deuxièmement, les données de l'observation et de l'expérience ne sont jamais neutres, elles sont toujours « chargées de théorie », c'est-à-dire investies d'une interprétation qui dépend des théories ou des conceptions admises jusque-là (point formulé notamment par Duhem, Popper, Hanson, Kuhn, Putnam et Chalmers). Troisièmement, l'expérience « sous-détermine » la théorie, c'est-à-dire qu'un même ensemble de données expérimentales peut en principe toujours être décrit par plusieurs théories rivales, ce qui signifie que la généralisation d'un ensemble fini de données d'expériences sous la forme d'une théorie n'est jamais univoque (point mis en avant par Poincaré, Duhem, Quine et van Fraassen).
- 49 Les didacticiens des sciences constructivistes ont pris en compte les deux premières objections et se sont appuyés dessus pour penser et justifier l'IBSE. En effet, dans le cadre de l'IBSE, l'investigation vise à tester des hypothèses préalablement imaginées et formulées par les élèves (cf. par exemple Driver et Easley, 1978, p. 80). La première objection, selon laquelle la théorie (ici des hypothèses) précède en général l'expérience, est ainsi prise en compte. Par ailleurs, ces hypothèses sont formulées pour tenter d'apporter des réponses à un problème. Or, ce problème se pose aux élèves en raison de l'interprétation « erronée » qu'ils font du phénomène apparaissant dans la situation de départ (mise en place ou décrite par l'enseignant), laquelle interprétation dépend de (et révèle) leurs conceptions initiales (cf. par exemple Posner *et al.*, 1982, p. 212-213). Est ainsi prise en compte la seconde objection selon laquelle les données d'observations ou d'expériences ne sont pas neutres.
- 50 En revanche, à notre avis, la troisième objection n'a pas été prise en compte. Reconnaître la sous-détermination de la théorie par l'expérience devrait attirer l'attention sur la possibilité que les élèves suivent différentes voies dans la construction des connaissances lors d'une investigation, et ce faisant, ne se dirigent pas vers les connaissances visées par l'enseignement. Nous pensons que ce point d'épistémologie pourrait être saisi en didactique des sciences pour penser la question du guidage des élèves par les enseignants dans un enseignement basé sur l'investigation, ou en d'autres termes, pour réfléchir sur les éléments théoriques qu'il est nécessaire de transmettre aux élèves pour les amener vers les connaissances visées et sur la manière et le moment les plus opportuns de les transmettre dans le cadre d'une investigation.
- 51 Il est à noter que ces points d'épistémologie mobilisés (ou pouvant l'être, s'agissant du dernier) dans le courant constructiviste en didactique des sciences sont admis de façon consensuelle dans le domaine de l'épistémologie, ou en d'autres termes, ne sont pas empruntés spécifiquement au courant constructiviste en épistémologie.

III. 2 L'épistémologie kuhnienne et la théorie du changement conceptuel

- 52 Revenons à la très influente théorie du changement conceptuel de Posner *et al.* (1982). Celle-ci s'inspire certes de Piaget (cf. §II.1.3), mais se présente avant tout comme une importation dans le champ de la didactique des sciences de l'épistémologie de Kuhn, développée dans le célèbre ouvrage *La structure des révolutions scientifiques* (1983 [1962, 1970]). Plus précisément, d'après Posner *et al.* (1982, p. 212), le changement conceptuel profond (ou « accommodation ») opéré par un élève en classe est « analogue » au changement conceptuel opéré par les scientifiques lors des périodes de « révolution scientifique » (au sens de Kuhn)¹⁹. Deux « conditions » doivent être réunies pour que la survenue d'un changement de conception (ou de concepts) soit « probable » (*ibid.*, p. 214). La première condition concerne la conception initiale de l'élève : ce dernier ne croit plus qu'il est possible de modifier légèrement sa conception afin de rendre compte de certains phénomènes inexpliqués, lesquels constituent des « anomalies » (au sens de Kuhn) et créent chez l'élève un conflit cognitif analogue à une « crise » scientifique (au sens de Kuhn). La seconde condition concerne la nouvelle conception que lui présente l'enseignant : celle-ci doit apparaître à l'élève comme étant à la fois « intelligible », « plausible » et comme lui « suggè[ant] la possibilité d'un programme de recherche fructueux » (*idem*). Posner *et al.* n'affirment pas que ces deux conditions soient suffisantes pour qu'un changement conceptuel profond soit opéré. Ils considèrent néanmoins que ce sont les deux conditions déterminantes (« importantes », *idem*).
- 53 Plusieurs critiques ont été formulées à l'encontre de cette théorie. Certaines d'entre elles ont pu être intégrées dans une théorie du changement conceptuel enrichi. Premièrement, plusieurs auteurs ont pointé le fait qu'un changement de conception, en général, n'est pas pleinement et durablement réalisé par un élève lors d'une unique séance (à partir d'une unique situation physique), mais n'est envisageable que si l'enseignant permet à l'élève de mobiliser la nouvelle conception dans de nombreuses situations, des situations variées et sur une longue période (cf. Driver, Guesne et Tiberghien, 1985, p. 199, Vosniadou et Ioannides, 1998, p. 1222). Si les conceptions initiales tendent à persister, c'est notamment parce qu'elles ont été opérantes pour décrire les phénomènes observés dans de très nombreuses situations, de sorte à devenir « automatiques » (Hasweh, 1986, p. 231). À cet égard, l'épistémologie de Kuhn nous enseigne que les scientifiques démontrent une très forte résistance à abandonner, sous la pression de phénomènes inexplicables, les théories acceptées jusque là (ou, suivant son expression, le « paradigme » en vigueur). Selon nous, l'analogie de Posner *et al.* pourrait ici être prolongée entre la résistance au changement des élèves et celle des scientifiques.
- 54 Deuxièmement, bien souvent après enseignement, les anciennes et les nouvelles conceptions coexistent (cf. Driver, Guesne et Tiberghien, 1985, p. 199, Duit, 1995, p. 278), ou autrement dit, les nouvelles conceptions n'éliminent pas les anciennes conceptions (cf. Tyson *et al.*, 1997, p. 391-392). La caractéristique suivante des conceptions apporte un élément d'explication à ce fait : les conceptions sont contextuelles, de sorte qu'un élève peut mobiliser la nouvelle conception dans le contexte où il l'a apprise (ou dans un contexte similaire), mais mobiliser sa conception initiale dans des contextes dissemblables (cf. Linder, 1993, p. 295, Jenkins, 2000, p. 605-606, Duit, 2003, p. 678-679). Plutôt que d'opérer un changement conceptuel, l'élève devrait apprendre à identifier les

- « conditions limites » de l'applicabilité des différentes conceptions (Linder, 1993, p. 295-296).
- 55 Troisièmement, d'après Gil-Pérez et Carrascosa (1985, 1990, cf. aussi Gil-Pérez, 1993), un changement conceptuel implique un « changement de méthodologie », condition négligée par Posner *et al.* Reprenant les travaux de Piaget, Gil-Pérez et Carrascosa remarquent que les élèves pratiquent spontanément une « méthodologie de la superficialité », c'est-à-dire une méthodologie consistant à faire des généralisations à partir d'observations non soumises à un contrôle, des généralisations qui restent qualitatives. Ils mettent cette méthodologie spontanée en contraste avec la méthodologie scientifique consistant à émettre des hypothèses que l'on soumet au test de l'expérience, en contrôlant les conditions. Pour opérer un changement conceptuel, d'après Gil-Pérez et Carrascosa, il est nécessaire que chaque élève s'approprie cette méthodologie scientifique, en la pratiquant de manière répétée.
- 56 Quatrièmement, d'autres auteurs insistent sur l'importance de la prise de conscience par les élèves de leurs conceptions et surtout du statut épistémologique de celles-ci. Ainsi Vosniadou et Ioannides (1998, p. 1224) estiment que les élèves devraient savoir que ces conceptions ont, du point de vue scientifique, valeur d'hypothèses, et que, à ce titre, elles peuvent être soumises au test de l'expérience (ce point étant partagé par Gil-Pérez, 1993, p. 49). Cette « conscience métaconceptuelle » (*metaconceptual awareness*), c'est-à-dire cette réflexivité sur les conceptions, considérée comme « une étape nécessaire dans le processus de changement conceptuel » (*ibid.*, p. 1227), peut notamment être favorisée par des discussions entre élèves (*ibid.*, p. 1224) ²⁰. White et Gunstone (1989, p. 581) estiment eux aussi que la « réflexion » des élèves sur leurs conceptions, sur les contradictions éventuelles entre elles ou avec les phénomènes et sur les possibilités de résoudre ces problèmes est essentielle pour intégrer les nouvelles connaissances. Ils nomment cette réflexivité « méta-apprentissage » (*metalearning*). Ce point est également développé par Blank (2000) qui parle de « métacognition » et d'après qui les élèves doivent être conscients de « comment ils connaissent » et « pourquoi ils connaissent » (p. 487).
- 57 Cinquièmement, plusieurs auteurs ont critiqué Posner *et al.* parce qu'ils modélisent l'élève uniquement comme un « agent rationnel » et, ce faisant, occultent d'autres conditions importantes rendant possible le changement conceptuel. En particulier, il convient de prendre en compte les facteurs de motivation des élèves (cf. Palmer, 2005) ainsi que les aspects sociaux de l'apprentissage (cf. Duit, 2003, p. 675).
- 58 Par ailleurs, la théorie du changement conceptuel de Posner *et al.* est affichée comme une théorie « constructiviste ». Il est vrai, cette théorie suppose que les élèves arrivent en classe avec des conceptions initiales qu'ils ont construites eux-mêmes. Cependant, dans sa formulation initiale, elle n'envisage pas que les élèves participent à la construction des connaissances à enseigner. Elle occulte également la construction du problème qui motive le changement conceptuel. Ce sont deux points que nous allons aborder dans ce qui suit.

III. 3 L'enquête selon Dewey

- 59 Bien que les textes américains officiels récents, par exemple les *National science education standards* (1996), ne font plus référence explicitement à Dewey, ce philosophe est indéniablement l'une des principales (si ce n'est la principale) sources d'influence de l'*IBSE*. En effet, la notion d'investigation ou d'enquête²¹ à laquelle l'*IBSE* fait appel a d'abord été discutée et précisée par Dewey qui lui a accordée une portée très générale. Cette

notion se trouve au cœur de sa philosophie. Toutes les activités humaines peuvent être décrites d'après lui en termes d'enquête, non seulement l'activité scientifique, mais aussi la politique, la construction des logements, la cuisine... Dans son œuvre maîtresse, *Logique : la théorie de l'enquête* (1993 [1938]), Dewey précise ce qu'est pour lui une enquête. Celle-ci a pour point de départ une situation qui nous apparaît « indéterminée », c'est-à-dire qui comporte un ensemble d'objets que nous ne parvenons pas à mettre en « connexion » de manière cohérente (*ibid.*, p. 169). C'est la prise de conscience de cette indétermination, la reconnaissance de son caractère « problématique » qui motive une enquête (*ibid.*, p. 172). L'enquête elle-même consiste à résoudre ce problème, ou autrement dit, à « convertir » la situation indéterminée en une situation déterminée, c'est-à-dire en une situation dont les objets sont mis en relation de telle sorte qu'ils forment un « tout unifié » (*ibid.*, p. 169). Cette transformation de la situation indéterminée en une situation déterminée est opérée à la fois sur le plan des idées et sur le plan matériel par la coopération du « raisonnement » et de l'« expérimentation ». Le « raisonnement » revient à établir de nouvelles relations entre des idées ou à les rendre plus précises (*ibid.*, p. 176). Quant à l'« expérimentation », Dewey la décrit comme la réalisation d'opérations matérielles qui modifient les conditions dans lesquelles se trouvent les objets de la situation indéterminée, et ce faisant, font apparaître ces objets autrement et/ou font apparaître de nouveaux objets (*ibid.*, p. 179). Cette expérimentation est menée sous l'impulsion et la direction des idées résultant du raisonnement, lesquelles sont décrites comme des « plans pour agir » (*ibid.*, p. 178). Pour que l'enquête soit couronnée de succès, le nouvel ensemble d'objets doit, comme nous l'avons indiqué ci-dessus, constituer un tout cohérent.

- 60 L'école, selon Dewey, n'est pas simplement un lieu d'application possible de sa théorie de l'enquête, c'est le lieu où la démarche de l'enquête peut être développée chez les enfants, pour un bénéfice immédiat dans leur vie quotidienne et en vue de leur vie future d'adulte (cf. 1897, cf. aussi Johnston, 2006). Pour que les élèves soient en mesure de reconnaître les problèmes à l'origine de leurs enquêtes menées en classe, ceux-ci doivent, d'après Dewey, être en prise directe avec leurs intérêts (1896a). Les enquêtes consistent ainsi à mener des activités manipulatoires telles que faire la cuisine, coudre ou construire la maquette d'une maison. C'est dans le cadre de ces activités que des outils théoriques (par exemple, des règles de grammaire ou des opérations mathématiques...) sont introduits (cf. par exemple 1896b, p. 245). Cette articulation de la théorie à la pratique permet aux élèves d'établir de nouvelles connections entre leurs actions et les objets dont il font l'expérience ou entre ces objets. Sur la base de cette connaissance nouvelle, il sont en mesure de « mieux anticiper ce qui va se produire » dans leurs futures expériences (1916, p. 89-90). En outre, ces activités sont menées de façon coopérative, la coopération étant au centre de la « démocratie » telle que Dewey la conçoit et dont il se fait le promoteur (cf. 1916). À noter que Dewey a lui-même préconisé et mis en œuvre (dans une école expérimentale à Chicago²²) un enseignement centré sur l'enquête et s'appuyant sur l'activité manipulatoire. C'est à lui qu'est associé historiquement l'expression *Hands On*.
- 61 La pédagogie « nouvelle » préconisée par Dewey a été très influente aux Etats-Unis au XXe siècle et constitue une référence (souvent tacite) pour le courant constructiviste en didactique des sciences. Il est à noter toutefois que les auteurs de ce courant n'ont pas discuté un aspect de sa théorie de l'enquête qui selon nous pourrait enrichir leur description du processus de la construction de la connaissance. D'après Dewey, en effet, une enquête conduit à la construction (Dewey n'emploie pas ce terme) de nouveaux

objets ou nouvelles propriétés d'objets : « l'enquête [...] produit et [...] ordonne [les objets] sous une forme stable » (1993 [1938], p. 184). Autrement dit, un objet avec ses propriétés n'est pas découvert par une enquête, il est un produit stabilisé qui résulte d'une enquête ayant abouti à une situation déterminée.

III. 4 Construction du problème, construction des connaissances

62 Quels sont les épistémologues sur lesquels s'appuient les didacticiens des sciences lorsqu'ils discutent le processus de la construction des connaissances par les élèves dans le cadre de l'*IBSE* ? Certains auteurs (en particulier dans littérature française) identifient la « construction du problème » comme une première étape de la construction des connaissances. Nous allons donc explorer la question précédente en distinguant les deux phases suivantes : la construction du problème et la construction des connaissances à proprement parler (lesquelles prennent la forme par exemple de lois empiriques ou de modèles).

III. 4. 1 La construction du problème

63 Les textes officiels français qui préconisent l'*IBSE* et plus spécifiquement la DI estiment qu'une étape essentielle qui précède et motive l'investigation est celle de l'appropriation du problème par les élèves (cf. MEN, 2005, 2008). Ces textes officiels français font ainsi écho aux travaux de plusieurs didacticiens des sciences en France qui se sont penchés sur ce qu'ils appellent la « construction du problème » par les élèves. Elle a d'abord été mise en avant en didactique des mathématiques par Brousseau (1988, p. 324-326) qui parle de « dévolution » du problème de l'enseignant aux élèves : le problème devient celui des élèves qui en acceptent la « responsabilité », c'est-à-dire que ces derniers doivent non seulement comprendre le problème, mais aussi s'engager dans l'activité de sa résolution. Pour que les élèves s'approprient le problème, il convient de les mettre face à une « situation » où celui-ci peut devenir manifeste, d'où l'expression « situation-problème ».

64 Cette dernière notion a ensuite été adaptée et développée en didactique de la physique, en particulier par Robardet (1990, 2001). L'appropriation du problème par les élèves est essentielle pour créer chez eux le « besoin de résoudre » (1990, p. 22). La situation présentée aux élèves doit pour cela « rester concrète et bien accessible aux élèves » (2001, p. 1188). Robardet estime, en outre, que la situation-problème ne doit pas déjà être simplifiée par l'enseignant (ex : glissement sans frottement, piste rectiligne, pile sans résistance interne...), de sorte que les élèves soient impliqués dans le processus de modélisation de la situation en formulant eux-mêmes des hypothèses (1990, p. 21-22 et 2000, p. 1188). Dans le même esprit, Gil-Pérez *et al.* (1987), Gil-Pérez (1993) et Dumas-Carré et Goffard (1997) pensent que pour favoriser la participation des élèves à la construction des connaissances, la situation doit leur être présentée sans données, lesquelles suggèrent déjà les grandeurs physiques à convoquer et donc la démarche à suivre pour la résolution du problème, elle doit rester « ouverte » (Gil-Pérez, 1993, p. 48, cf. aussi Boilevin, 2005, p. 22).

65 Fabre et Orange (1997) ont également exploré la notion de situation-problème en insistant sur le fait que le problème doit être « construit » ou « reconstruit » par les élèves (ces auteurs parlent également de « problématisation ») : ceux-ci doivent identifier les « contraintes » de la situation et explorer les « possibles », c'est-à-dire les solutions

envisageables du problème étant données les contraintes (p. 38 (note 2), 40 et 43). Cette construction du problème ne peut se faire que dans un « cadre théorique défini » (*ibid.*, p. 40 et Orange, 2005, p. 9), ou comme le dit Gil-Pérez *et al.* (1987, p. 25), « dans un contexte théorique donné ». Ce point est également développé par Rumelhard (2005, p. 205) qui souligne que le cadre théorique, ou « paradigme » au sens de Kuhn, non seulement « trace les limites du jeu des possibles », mais aussi en amont « définit de manière latente et non pas explicite les questions pertinentes à un moment donné dans un contexte donné ».

- 66 À propos de cette idée de la construction du problème par les élèves, les didacticiens des sciences s'inspirent explicitement de plusieurs épistémologues, principalement de Bachelard, et dans une moindre mesure de Dewey ou de Kuhn. L'une des citations les plus utilisées des didacticiens est tirée de Bachelard (2004 [1938], p. 16) :
- 67 D'après Bachelard, connaître, ce n'est pas être détenteur d'une information dont la signification serait évidente, connaître implique une activité intellectuelle qui consiste notamment à situer l'information dans un questionnement, à l'interpréter comme une réponse à un problème. La signification du problème elle non plus n'est pas évidente : le problème, en effet, n'est pas une simple question isolée, il ne se pose que par rapport à des connaissances préalables. Il convient de préciser que, selon Bachelard, les connaissances ne sont pas cumulatives, mais sont en permanence révisées, et ce, dans une dynamique d'identification d'erreurs dans les connaissances préalables (ou construction des problèmes) et de « rectification » de ces erreurs (ou résolution des problèmes) (cf. 1999 [1934], p. 178, 2004 [1938], p. 13 et 285, cf. aussi ci-dessous, §II.4.2).
- 68 À l'instar de Bachelard, Dewey voit dans l'activité intellectuelle de l'identification du problème l'étape essentielle qui précède une investigation. Toutefois, contrairement à lui, Dewey ne considère pas que la construction du problème soit le propre de l'activité scientifique. De son point de vue, il n'existe pas de rupture entre l'« enquête du sens commun » et l'« enquête scientifique », elles sont caractérisées par « un schème commun » (1993 [1938], p. 182). Cette différence entre Bachelard et Dewey est pointée par Fabre (2009, p. 124).
- 69 Comme le remarque Mathé (2010, p. 27), plusieurs auteurs français (ex : Meirieu, Astolfi ou Fabre) « ont ajouté [à la notion de situation-problème] l'idée d'un obstacle à franchir », au sens de Bachelard (cf. II.4.2), c'est-à-dire que la situation-problème doit engager les élèves dans une investigation leur permettant de s'affranchir des conceptions erronées faisant barrage à l'accès aux connaissances scientifiques.
- 70 Un parallèle peut être fait entre cette approche française inspirée de Bachelard et la théorie du changement conceptuel inspirée de Kuhn (cf. §II.1.3 et §III.2). En particulier, l'idée de la construction du problème peut être rapprochée de celle de métacognition ou réflexion des élèves sur leurs conceptions initiales et leur caractère insatisfaisant dans le cadre de la théorie du changement conceptuel. La théorie du changement conceptuel ne discute toutefois pas explicitement le processus de la construction d'un problème.
- 71 Par ailleurs, un ensemble de recherches dans la littérature anglo-saxonne porte sur la notion de problème en rapport avec la construction des connaissances (voir par exemple Chin et Chia, 2004). Cependant, ces recherches se focalisent davantage sur la phase de la résolution du problème que sur celle de sa construction.

III. 4. 2 La construction des connaissances

- 72 La construction du problème peut donc se voir comme une première étape de la construction des connaissances par les élèves. D'après les tenants de l'approche constructiviste en didactique des sciences, cette construction des connaissances se poursuit (ou, pour certains, a uniquement lieu) au cours de l'investigation, ou autrement dit, au cours de la résolution du problème. Quels sont les épistémologues auxquels les didacticiens font appel sur ce point essentiel ?
- 73 Dans la littérature anglo-saxonne, il ne semble pas y avoir de référence majeure : les références à des épistémologues sont peu nombreuses et varient d'un article à l'autre. Dans l'article très influent de Driver et Easley (1978), cité plus haut, l'épistémologue convoqué pour éclairer l'idée selon laquelle les enfants construisent leurs propres conceptions (*alternative-frameworks*) est Popper (sans mention de l'un de ses ouvrages) : les hypothèses ou théories portant sur la réalité physique étudiée ne sont pas déduits de l'expérience, mais sont des « produits de l'imagination humaine » (p. 62, cf. aussi p. 80). Suivant cette idée, les élèves auraient ainsi recours à leur imagination pour émettre différentes hypothèses comme autant de réponses possibles à un problème, des hypothèses qui se verraient ensuite confrontées au test de l'expérience.
- 74 Dans un second article très influent publié avec d'autres co-auteurs (Driver, Asoko *et al.*, 1994), Driver semble faire évoluer son point de vue sur la construction des connaissances par les élèves. Elle se réfère non plus à Popper, mais à Hanson et à des sociologues des sciences (Collins et Latour et Woolgar). L'idée mise en avant est que la connaissance scientifique serait « construite et validée socialement » (p. 6). Pour autant, Driver *et al.* n'adhèrent pas aux conclusions relativistes des sociologues des sciences et ne renoncent pas à l'hypothèse « ontologique » selon laquelle cette construction de la connaissance serait « contrainte par comment le monde est » (*idem*). C'est de cette idée que découle la conception de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences comme un « processus d'acculturation » (p. 8, cf. II.2.3).
- 75 Dans la littérature française en didactique des sciences, Bachelard est la référence majeure. Mais il convient d'emblée de remarquer l'approche particulière suivie par cet épistémologue : celle-ci emprunte à la méthode « psychanalytique », c'est-à-dire qu'il entend analyser les processus psychologiques qui interviennent lors de la construction de connaissances scientifiques (comme l'annonce le sous-titre de son ouvrage de 1938 : *Contribution à une psychanalyse de la connaissance*). À cet égard, le domaine de provenance de la source d'influence bachelardienne est à la fois l'épistémologie et la psychologie (bien que Bachelard ne constitue pas une référence classique en matière de psychologie). À la différence de Piaget, Bachelard porte son attention, non pas sur les enfants, mais sur les scientifiques. Il s'appuie pour ce faire sur une étude de l'histoire des sciences et du fonctionnement des sciences au XXe siècle (ce qui est également une source d'information pour Piaget à côté de ses études empiriques sur les enfants, cf. II.1.6). Comme nous l'avons indiqué ci-dessus (§II.4.1), selon Bachelard, connaître en sciences, ce n'est pas être détenteur d'informations, ce n'est pas être érudit, connaître implique une activité intellectuelle qui, précisons-le, doit être continue : « tout savoir scientifique doit être à tout moment reconstruit » (2004 [1938], p. 10). Nous avons également indiqué plus haut que, pour lui, construire une connaissance scientifique, c'est d'abord construire le problème. Comment construire ensuite la réponse à ce problème ? D'après Bachelard, le mode de construction ou mode de raisonnement que l'« esprit scientifique » met en

œuvre consiste essentiellement à établir des *relations* entre des concepts ou grandeurs physiques, des relations « abstraites », c'est-à-dire détachées de l'expérience sensible et prenant généralement une forme mathématique : « la physique, écrit-il, [est] une pensée de la relation » (1994 [1949], p. 208). De ce point de vue, insiste Bachelard, l'esprit scientifique se distingue radicalement de l'esprit du sens commun, lequel a tendance (en autres) à interpréter les données des sens en termes d'attributs d'une substance. C'est cette même tendance à la substantialisation qui a été identifiée chez les enfants par les didacticiens de la physique, par exemple concernant la notion de force, de chaleur ou d'image optique (cf. Viennot, 1996). Cette tendance spontanée constitue, selon Bachelard, un obstacle (parmi d'autres) à l'accès à la connaissance scientifique, un « obstacle épistémologique » (cf. 2004 [1938], Chap. 1). Ainsi de manière concomitante à la construction de connaissances scientifiques suivant un mode de raisonnement scientifique, les connaissances antérieures « mal faites » doivent être « détruites » (*ibid.*, pp. 15-16), c'est-à-dire qu'il s'agit de s'émanciper des modes de raisonnement que l'esprit du sens commun a tendance à mobiliser spontanément.

- 76 Cette notion d'obstacle épistémologique à franchir a beaucoup inspiré les didacticiens des sciences en France. Par exemple, Viennot (1996, p. 12) considère, d'une part, que l'enseignement doit être conçu en tenant compte des conceptions initiales pouvant jouer ce rôle d'obstacle, et d'autre part, que les élèves doivent prendre conscience que « la physique permet de dire et de faire sur un mode autre que la pensée naturelle ». Ou encore, Martinand (1986, p. 290) propose de fixer comme objectif de chaque enseignement précisément le franchissement des obstacles épistémologiques : « notre proposition principale consiste à "focaliser" les objectifs sur les obstacles susceptibles d'être franchis par les élèves »²³.
- 77 Par ailleurs, plusieurs didacticiens des sciences en France ont développé l'idée selon laquelle en introduisant les concepts et les modèles au cours d'une investigation et en les faisant manipuler par les élèves, ces derniers peuvent éprouver le caractère opératoire de ces concepts et modèles. Par exemple, Robardet et Guillaud (1995, p. 214) estiment que « les notions ne sont pas introduites simplement en tant que connaissances mais en tant qu'"outils de résolution" » (cf. aussi *ibid.*, p. 213). Lemeignan et Weil-Barais (1993, p. 18) pensent que les élèves, parce qu'ils ont besoin de concepts et de modèles comme outils théoriques pour mener à bien leur investigation, les « construisent » eux-mêmes en partie : « les concepts et les modèles sont construits pour résoudre des problèmes ». Soulignant également les fonctions opératoires des modèles (tels que le modèle particulaire de la matière), Larcher, Chomat et Méheut (1990) ont proposé la stratégie d'enseignement consistant à fournir aux élèves un « germe de modèle » qu'ils doivent enrichir progressivement par de nouvelles hypothèses, et donc construire partiellement, afin de rendre compte de nouveaux phénomènes auxquels l'enseignant les confronte. En mettant ainsi en avant l'aspect opératoire des concepts et des modèles, ces didacticiens des sciences développent un point de vue pouvant être rapproché de la philosophie pragmatiste²⁴, courant de pensée se déclinant notamment dans le domaine de l'épistémologie auxquels ces auteurs ne font toutefois pas référence. Selon nous, l'épistémologie pragmatiste constitue une source de réflexion potentiellement riche qui demeure très peu exploitée dans le domaine de la didactique des sciences.

III. 4. 3 Les limites du parallèle entre la construction des scientifiques et celle des élèves

- 78 Si l'épistémologie est une source d'influence importante pour le courant constructiviste en didactique des sciences, notamment pour imaginer la façon dont les élèves peuvent construire les connaissances au cours d'une investigation menée en classe, il convient néanmoins de souligner des différences importantes entre cette activité de construction des élèves et celle des scientifiques. Dans le domaine des sciences, les scientifiques construisent des savoirs non déterminés à l'avance, ils peuvent suivre des chemins différents, leur travail est long et complexe, ils avancent par tâtonnements (émission de multiples hypothèses) et erreurs. En classe, les élèves reconstruisent des savoirs pré-déterminés à l'avance (par les programmes et l'enseignant), ils doivent suivre un chemin unique, dans une temporalité très courte, sans que soit possible un réel processus de tâtonnements et d'erreurs (cf. Arcà et Caravita, 1993, p. 87, Joshua et Dupin, 2003, p. 136).

IV. Conclusion

- 79 Dans cet article, nous avons tenté de clarifier les fondements constructivistes de l'IBSE en explorant ses diverses sources d'influence. Celles-ci sont issues, pour une part, de la psychologie du développement cognitif, et pour une autre part, de l'épistémologie. Il ressort de cette synthèse de la littérature que l'investigation préconisée pour l'enseignement des sciences est appréhendée de deux manières distinctes selon la perspective adoptée. En effet, lorsque les auteurs puisent leurs références théoriques dans le domaine de la psychologie du développement cognitif, ils conçoivent l'investigation menée en classe par les élèves comme une extension du processus cognitif d'accommodation mené spontanément et inconsciemment par l'enfant face à un déséquilibre cognitif. Lorsque les auteurs puisent leurs références théoriques dans le domaine de l'épistémologie, ils conçoivent cette même investigation par analogie avec l'activité de recherche menée volontairement et consciemment par les scientifiques face à un phénomène inexplicable. Cette double perspective est mise en relief dans le schéma de la figure 1.

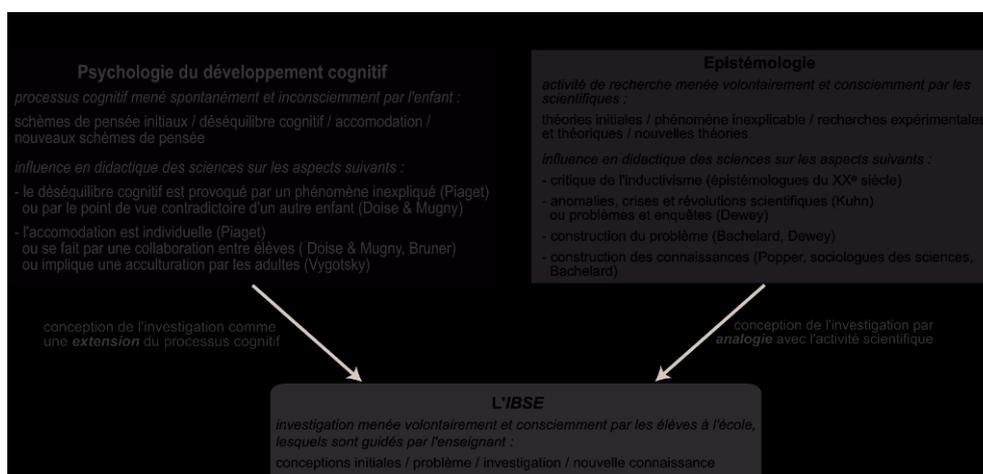


Figure 1 – Schéma synthétique des fondements constructivistes de l'IBSE

- 80 Il s'agissait également de mettre au jour ce qui, d'après les différents auteurs étudiés, est supposé être « construit » par les élèves au cours d'un enseignement basé sur l'investigation. Selon nous, la dualité de perspective dans la conception de l'investigation conduit à distinguer deux types de construction. Un premier type de construction se situe au niveau mental : que ce soit ou non dans le cadre de l'IBSE, l'apprentissage de nouvelles connaissances scientifiques nécessite que les élèves construisent de nouveaux schèmes de pensée (ou « structures cognitives ») ou réorganisent leurs schèmes de pensée existants (ex : schèmes de la causalité, de l'espace, du temps, de la relation entre un objet et ses attributs, de la relation entre des grandeurs, etc.). Parce qu'il se situe au niveau mental, ce processus de construction n'est pas manifeste et les élèves peuvent le réaliser sans qu'ils en aient conscience, et par conséquent, sans que ce soit un choix explicite de leur part. Un second type de construction se situe au niveau symbolique (c'est-à-dire au niveau de ce qui est exprimé par des mots ou des symboles mathématiques) : dans le cadre de l'IBSE spécifiquement, les élèves sont conduits à interroger leurs conceptions initiales, à identifier des problèmes, à émettre de nouvelles hypothèses et à les tester, et en ce sens, à participer à la construction des connaissances scientifiques à apprendre. Parce qu'il se situe au niveau symbolique, ce processus de construction est manifeste et les élèves le réalisent de façon consciente et volontaire. Il peut impliquer une activité de construction ou de réorganisation des schèmes de pensée. Ce second type de construction peut être favorisé par une posture réflexive des élèves sur leurs connaissances préalables, sur le fait qu'elles peuvent être révisées (à la lumière de nouvelles expériences ou de nouvelles considérations théoriques), ainsi que sur l'aspect opératoire des concepts, modèles et autres éléments de connaissance scientifique. Ces deux types de construction sont présents conjointement dans les approches de la plupart des auteurs constructivistes préconisant l'IBSE, mais en général ils ne sont pas distingués de façon claire.
- 81 S'agissant des liens entre le courant constructiviste en didactique des sciences, d'un côté, et les courants constructivistes respectivement en psychologie du développement cognitif et en épistémologie, de l'autre, nous arrivons à une conclusion nuancée. En effet, les sources d'influence du courant constructiviste en didactique des sciences qui proviennent du domaine de la psychologie du développement cognitif sont elles-mêmes constructivistes : Piaget, Doise et Mugny, Vygotsky, Bruner... Celles qui proviennent du domaine de l'épistémologie ne sont pas toutes constructivistes : si Dewey, Bachelard, Kuhn peuvent être qualifiés de constructivistes, il n'en va pas de même de tous les épistémologues sur lesquels s'appuient les didacticiens des sciences pour critiquer l'inductivisme.

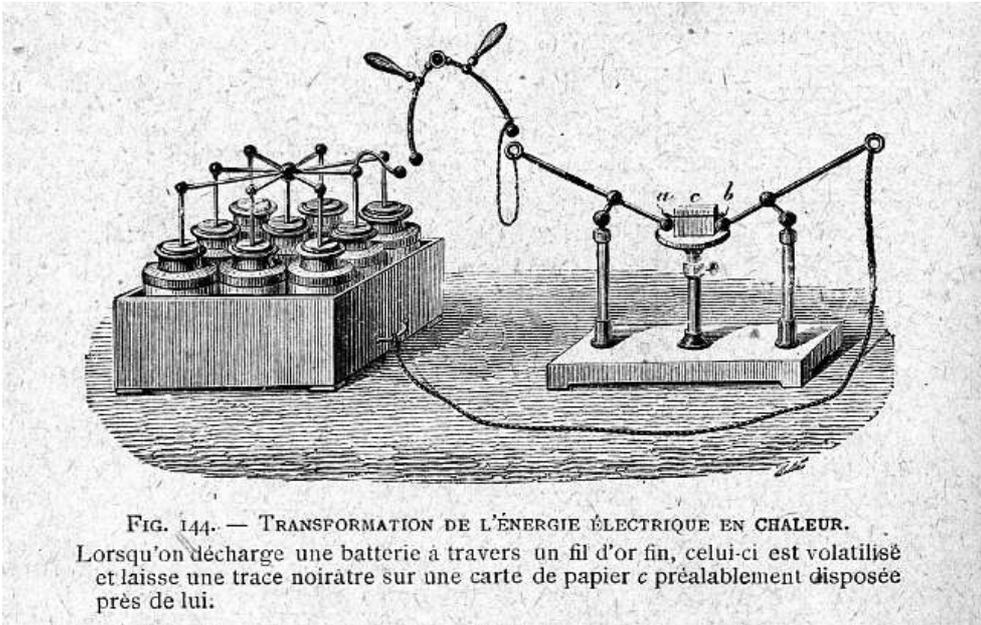


FIG. 144. — TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN CHALEUR.
Lorsqu'on décharge une batterie à travers un fil d'or fin, celui-ci est volatilisé et laisse une trace noirâtre sur une carte de papier *c* préalablement disposée près de lui.

Physique, troisième année (enseignement primaire supérieur), ouvrage rédigé conformément aux programmes officiels du 26 juillet 1909 et orné de 152 gravures. Chassagny, M., Carré, F., deuxième édition, Hachette, Paris, 1918. Source CEDRHE, 22922, p. 228.

BIBLIOGRAPHIE

- Abd-El-Khalick, F., Embedding nature of science instruction in preservice elementary science courses : abandoning scientism, but..., *Journal of Science Teacher Education*, 12 (2), 2001. p. 215-233.
- Anderson, R., Inquiry as an organizing theme for science curricula. Dans S. Abell et N. Lederman (eds.), *Handbook of research on science education*. Mahwah (New Jersey) et Londres : Lawrence Erlbaum. 2007. p. 807-830.
- Arcà, M. et Caravita, S., Le constructivisme ne résout pas tous les problèmes, *Aster*, 16, 1993, p. 77-101.
- Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J., *Mots-clés de la didactique des sciences : repères, définitions, bibliographies*. Bruxelles : De Boeck. 2008.
- Astolfi, J.-P. et Develay, M., *La didactique des sciences*. Paris : Presses Universitaires de France. 1989.
- Bachelard, G., *Le nouvel esprit scientifique*. Paris : Presses Universitaires de France. 1999 [1934].
- Bachelard, G., *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance*. Paris : Vrin. 2004 [1938].
- Bachelard, G., *Le rationalisme appliqué*. Paris : Presses Universitaires de France. 1994 [1949].
- Bächtold, M., Quelle épistémologie pour la didactique de la physique ? Éléments de réflexion sur la domination du constructivisme. Dans H. Galli et al. (eds.), *Les didactiques au prisme de l'épistémologie : une approche plurielle*. Dijon : Éditions Universitaires de Dijon (à paraître). 2012.
- Baviskar, S., Hartle, T. et Whitney, T., Essential criteria to characterize constructivist teaching : derived from a review of the literature and applied to five constructivist-teaching method articles, *International Journal of Science Education*, 31 (4), 2009, p. 541-550.

- Blank, L., A metacognitive learning cycle : a better warranty for student understanding ? *Science Education*, 84, 2000, p. 486-506.
- Blaye, A. et Lemaire, P., *Psychologie du développement cognitive de l'enfant*. Bruxelles : De Boeck. 2007.
- Boilevin, J.-M., Enseigner la physique par situation problème ou par problème ouvert, *Aster*, 40, 2005, p. 13-37.
- Brousseau, G., Le contrat didactique : le milieu, *Recherches en didactique des mathématiques*, 9 (3), 1988, p. 309-336.
- Bruner, J., *L'éducation : entrée dans la culture*. Paris : Retz. 2008 [1996].
- Cariou, J.-Y., Histoire des démarches en sciences et épistémologie scolaire, *Revue de Didactique des Sciences et des Techniques*, 3, 2011, p. 83-106.
- Charpak, G. (dir.), *La Main à la pâte : les sciences à l'école primaire*. Paris : Flammarion. 1996.
- Chin, C., Chia, L. G., Problem-based learning : using students' questions to drive knowledge construction, *Science Education*, 88, 2004, p. 707-727.
- Coquidé, M., Fortin, C. et Rumelhard, G., L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites, *Aster*, 49, 2009, p. 49-76.
- Dell'Angelo, M., Coquidé, M. et Magneron, N., Statut de l'investigation dans les standards de l'enseignement scientifique : cas des USA, de la Suisse et de la France. Dans B. Calmettes (ed.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*. Paris : L'Harmattan. 2012, pp. 27-57.
- Dewey, J., Interest in relation to training of the will. In *John Dewey : The early works, 1882-1898*, vol. 5. Carbonate : Southern Illinois University Press, 1972 [1896a], p. 111-150.
- Dewey, J., A pedagogical experiment. In *John Dewey : The early works, 1882-1898*, vol. 5. Carbonate : Southern Illinois University Press, 1972 [1896b], p. 244-246.
- Dewey, J., My pedagogical creed. In *John Dewey : The early works, 1882-1898*, vol. 5. Carbonate : Southern Illinois University Press, 1972 [1897], p. 84-85.
- Dewey, J., *Democracy and Education: an introduction to the philosophy of education*. New York : The Macmillan Company. 1916.
- Dewey, J., *Logique : la théorie de l'enquête* (tr. fr.). Paris : Presses Universitaires de France. 1993 [1938].
- Di Folco, E. et Léna, P., La main à la pâte : a French endeavour to renovate science education in primary schools. *Actes du Whorshop "Astrophysics, and how to attract young people into Physics"*, Liège. Disponible sur Internet : <http://www.astro.ulg.ac.be/RPub/Colloques/JENAM/proceedings/education/education_difolco.pdf>. 2005, p. 1-4.
- Doise, W. et Mugny, G., *Le développement social de l'intelligence*. Paris : Interéditions. 1981.
- Doise, W., Mugny, G. et Perret-Clermont, A., Social interaction and the development of cognitive operation, *European Journal of Social Psychology*, 5, 1975, p. 367-383.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E. et Scott, P., Constructing scientific knowledge in the classroom, *Educational Researcher*, 23 (7), 1994, p. 5-12.
- Driver, R. et Easley, J., Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students, *Studies in Science Education*, 5, 1978, p. 61-84.

Driver, R., Guesne, E. et Tiberghien, A. (eds.), *Children's ideas in science*. Buckingham, Bristol : Open University Press. 1985.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. et Wood-Robinson, V., *Making sense of secondary science: research into children's ideas*. Londres et New York : Routledge. 1994.

Duit, R., The constructivist view : a fashionable and fruitful paradigm for science education. Dans L. Steffe et J. Gale (eds.), *Constructivism in education*. Hillsdale (New Jersey) : Erlbaum. 1995, p. 271-285.

Duit, R., Bibliography : students' and teachers' conceptions and science education. Disponible sur Internet : <<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>>. 2009.

Duit, R., Conceptual change : a powerful framework for improving science teaching and learning, *International Journal of Science Education*, 25 (6), 2003, p. 671-688.

Dumas-Carré, A. et Goffard, M., *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique : concepts et démarches*. Paris : Armand Colin. 1997.

Fabre, M., *Philosophie et pédagogie du problème*. Paris : Vrin. 2009.

Fabre, M. et Orange, C., Construction des problèmes et franchissements d'obstacles, *Aster*, 24, 1997, p. 37-57.

Gale, G., Preface. Dans L. Steffe et J. Gale (eds.), *Constructivism in education* (pp. ix-xvii). Hillsdale (New Jersey) : Erlbaum. 1995.

Gauld, C., History of science, individual development and science teaching, *Research in Science Education*, 21, 1991, p. 133-140.

Giannetto, E., The impetus theory : between history of physics and science education, *Science et Education*, 2, 1993, p. 227-238.

Gil-Pérez, D., Apprendre les sciences par une recherche de démarche scientifique, *Aster*, 17, 1993, p. 41-64.

Gil-Pérez, D. et Carrascosa, J., Science Learning as a Conceptual and Methodological Change, *European Journal of Science Education*, 7 (3), 1985, p. 231-236.

Gil-Pérez, D. et Carrascosa, J., What to Do about Science "Misconceptions", *Science Education*, 74 (5), 1990, p. 531-540.

Gil-Pérez, D., Guisasola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., Pessoa, A., Martinez-Torregrosa, J., Salinas, J., Valdés, P., Gonzalez, E., Gené, A., Dumas-Carré, A., Tricarico, H. et Gallego, R., Defending constructivism in science education, *Science et Education*, 11, 2002, p. 557-571.

Gil-Pérez, D., Martinez-Torregrosa, J. et Senent-Pérez, F., La résolution de problèmes comme activité de recherche : un instrument de changement conceptuel et méthodologique, *Petit x*, 1987, pp. 14-15, 25-38.

Good, R., The many forms of constructivism, *Journal of research in science teaching*, 30 (9), 1993, p. 1015.

Hashweh, M., Toward an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, 8 (3), 1986, p. 229-249.

Host, V. et Martinand, J.-L. (coord.), *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire, III : initiation physique et technologique*. INRDP. 1975.

Jenkins, E., Constructivism in school science education: powerful model or the most dangerous intellectual tendency ? *Science et Education*, 9, 2000, p. 599-610.

- Johnston, J., *Inquiry and education : John Dewey and the quest for democracy*. Albany : State University of New York Press. 2006.
- Johsua, S. et Dupin, J.-J., *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France. 2003.
- Kahn, P., L'enseignement des sciences : de Ferry à l'éveil, *Aster*, 31, 2000, p. 9-35.
- Kotzee, B., Seven posers in the constructivist classroom, *London Review of Education*, 8 (2), 2010, p. 177-187.
- Kuhn, T., *La structure des révolutions scientifiques* (tr. fr.). Paris : Flammarion. 1983 [1962, 1970].
- La main à la pâte et le Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école, *Guide de découverte*. Paris : INRP. Disponible sur Internet : <http://www.lamap.fr/bdd_image/51_brochure_lamap.pdf>. 2002.
- Kelly, G., Research traditions in comparative context : a philosophical challenge to radical constructivism, *Science Education*, 81, 1997, p. 355-375.
- Larcher, C. Chomat, A. et Méheut, M., À la recherche d'une stratégie pour modéliser la matière dans ses différents états, *Revue Française de Pédagogie*, 93 (1), 1990, p. 51-61.
- Lemeignan, G. et Weil-Barais, M., *Construire des concepts en physique : l'enseignement de la mécanique*. Paris : Hachette. 1993.
- Linder, C., A challenge to conceptual change, *Science Education*, 77 (3), 1993, p. 293-300.
- Martinand, J.-L., *Connaître et transformer la matière : des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Berne : Peter Lang. 1986.
- Martinand, J.-L. et al. (coord.), *Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire, V : démarches pédagogiques en initiation physique et technologique*. INRP. 1980.
- Martínez-Delgado, A., Radical constructivism : between realism and solipsism, *Science Education*, 86, 2002, p. 840-855.
- Mathé, S., *La « démarche d'investigation » dans les collèges français : élaboration d'un dispositif de formation et étude de l'appropriation de cette nouvelle méthode d'enseignement par les enseignants*. Thèse de doctorat de l'Université Paris 7. 2010.
- Matthews, M. R., Introductory comments on philosophy and constructivism in science education, *Science et Education*, 6 (1-2), 1997, p. 5-14.
- Matthews, M. R., Constructivism in Science and Mathematics Education. Dans D.C. Phillips (ed.), *National Society for the Study of Education, 99th Yearbook*. Chicago : University of Chicago Press. Disponible sur Internet : <<http://wwwcsi.unian.it/educa/inglese/matthews.html>>. 2000, p. 161-192.
- Mayhew, K. et Edwards, A., *The Dewey school*. New York: Atherton. 1966.
- MEN²⁵, Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école. *Bulletin Officiel de l'Education Nationale*, n°23 du 15 juin 2000. Disponible sur Internet : <<http://www.education.gouv.fr/bo/2000/23/ensel.htm>>. 2000.
- MEN, Enseigner les sciences à l'école : cycles des approfondissements (cycle 3). *Documents d'application des programmes, CNDP*. Disponible sur Internet : <<http://www2.cndp.fr/archivage/valid/38287/38287-5690-5493.pdf>>. 2002.

MEN., Programmes des collèges : introduction commune à l'ensemble des disciplines scientifiques. *Bulletin Officiel de l'Education Nationale*, n°5 du 25 août 2005. Disponible sur Internet : <<http://trf.education.gouv.fr/pub/edutel/bo/2005/hs5/annexe1.pdf>>. 2005.

MEN, Programmes du collège : programmes de l'enseignement de physique-chimie. *Bulletin Officiel de l'Education Nationale*, spécial n°6 du 28 août 2008. Disponible sur Internet : <http://media.education.gouv.fr/file/special_6/52/7/Programme_physique-chimie_33527.pdf>. 2008.

MEN, Programmes de physique-chimie en classe de seconde générale et technologie. *Bulletin Officiel de l'Education Nationale*, spécial n°4 du 29 avril 2010. Disponible sur Internet : <http://media.education.gouv.fr/file/special_4/72/9/physique_chimie_143729.pdf>. 2010a.

MEN, Programme d'enseignement spécifique de physique-chimie en classe de première de la série scientifique. *Bulletin Officiel de l'Education Nationale*, spécial n°4 des 9 et 30 septembre 2010. Disponible sur Internet : <<http://www.education.gouv.fr/cid53327/mene1019556a.html>>. 2010b.

National Research Council. *National science education standards*. Washington : National Academy Press. Disponible sur Internet : <http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=4962>. 1996.

Nola, R., Constructivism in science and in science education: a philosophical critique, *Science et Education*, 6 (1-2), 1997, p. 55-83.

OCDE, *Résultats du PISA 2009 : savoirs et savoir-faire des élèves - Performance des élèves en compréhension de l'écrit, en mathématiques et en sciences (Volume I)*. Disponible sur Internet : <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264097643-fr>>. 2011.

Orange, C., Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique, *Aster*, 40, 2005, p. 3-11.

Osborne, J. F., Beyond constructivism, *Science Education*, 80 (1), 1996, p. 53-82.

Palmer, D., A motivational view of constructivist-informed teaching, *International Journal of Science Education*, 27 (15), 2005, p. 1853-1881.

Pélissier, L. et Venturini, P., Qu'attendre de la démarche d'investigation en matière de transmission de savoirs épistémologiques ? Dans B. Calmettes (ed.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*. Paris : L'Harmattan. 2012, p. 127-150.

Piaget, J., *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel, Paris : Delachaux et Niestlé. 1977a [1936].

Piaget, J., *La construction du réel chez l'enfant*. Lausanne : Delachaux et Niestlé. 1977b [1937].

Piaget, J., *Introduction à l'épistémologie génétique, Tome 2 : la pensée physique*. Paris : Presses Universitaires de France. 1973 [1949].

Piaget, J., *Psychologie et pédagogie*. Paris : Denoël. 1969.

Piaget, J., *Psychologie et épistémologie*. Paris : Denoël. 1970.

Piaget, J. et Garcia, R., *Psychogénèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion. 1983.

Piaget, J. et Inhelder, B., *La psychologie de l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France. 1966.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P. et Gertzog, W., Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66 (2), 1982, p. 211-227.

Robardet, G., Enseigner les sciences physiques à partir de situations-problèmes, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 84, 1990, p. 17-28.

- Robardet, G., Quelle démarche expérimentale en classe de physique ? Notion de situation-problème, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 95, 2001, p. 1173-1190.
- Robardet, G. et Guillaud, J.-G., *Éléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques : de la recherche à la pratique*. Grenoble : Publications de l'IUFM de Grenoble. 1995.
- Rocard, M. et al., L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe. Rapport du groupe d'experts sur l'enseignement des sciences de la direction générale de la recherche, unité « information et communication », Commission européenne. Disponible sur Internet : <http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_fr.pdf>. 2007.
- Rumelhard, G., Problématisation et concept de paradigme : approche épistémologique, psychologique, sociologique, *Aster*, 40, 2005, p. 205-223.
- Solomon, J., The rise and fall of constructivism, *Studies in Science Education*, 23, 1994, 1-19.
- Tyson, L., Venville, G., Harrison, A. et Treagust, D., A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom, *Science Education*, 81 (4), 1997, p. 387-404.
- Viennot, L., Spontaneous reasoning in elementary mechanics, *European Journal of Science Education*, 1 (2), 1979, p. 205-221.
- Viennot, L., *Raisonnement en physique : la part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck. 1996.
- Von Glasersfeld, E., *Radical constructivism : a way of knowing and learning*. Londres, Washington : The Falmer Press. 1995.
- Von Glasersfeld, E., Introduction : aspects of constructivism. Dans C. T. Fosnot (ed.), *Constructivism : theory, perspectives, and practice*. New York et Londres : Teachers College Press. 2005, p. 3-7.
- Vosniadou, S. et Ioannides, C., From conceptual change to science education : a psychological point of view, *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1998, p. 1213-1230.
- Vygotsky, L., *Pensée et langage* (tr. fr.). Paris : La dispute. 1997 [1934].
- White, R. et Gunstone, R., Metalearning and conceptual change, *International Journal of Science Education*, 11, 1989, p. 577-586.
- Windschitl, M., Folk theories of 'inquiry': how preservice teachers reproduce the discourse and practices of an atheoretical scientific method, *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (5), 2004, p. 481-512.

NOTES

1. Notre traduction. La citation originale est : « Inquiry into authentic questions generated from student experiences is the central strategy for teaching science ».
2. Par exemple, le « canevas » proposé par les programmes du collège en 2008 (MEN, 2008, p. 4) est composé des 7 « moments » suivants : « (1) choix d'une situation - problème ; (2) l'appropriation du problème par les élèves ; (3) la formulation [...] d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles ; (4) l'investigation [...] conduite par les élèves ; (5) l'échange argumenté autour des propositions élaborées ; (6) l'acquisition et la structuration des connaissances ; (7) la mobilisation des connaissances ». Chacun de ces moments est lui-même composé de plusieurs étapes. Par exemple, le moment de l'investigation est composé des étapes suivantes : « moments de débat interne au groupe d'élèves ; contrôle de l'isolement des paramètres et de leur variation,

description et réalisation de l'expérience [...]; description et exploitation des méthodes et des résultats, recherche d'éléments de justification et de preuve, confrontation avec les [...] hypothèses formulées précédemment ».

3. Notre traduction. La citation originale est : « learning science is something students do, not something that is done to them ».

4. Notre traduction. La citation originale est : « students should experience science in a form that engages them in the active construction of ideas and explanations ».

5. Selon le domaine scientifique, il peut s'agir du monde physique, du monde vivant, de la société, etc. Dans ce qui suit, nous focaliserons notre attention sur le domaine de la physique et donc sur le monde physique.

6. Notre traduction. La citation originale est : « Piaget's work forms the basis for the majority of learning studies with younger children. [...] [They] should be read for the indications they give of the content of children's idea and explanations, rather than as ways of assessing the development of underlying logical structures ».

7. Il apparaît plus adéquat dans ce cas de parler de « mode de raisonnement » plutôt que de « conception ».

8. Cf. par exemple les ouvrages de synthèse de Driver *et al.*, 1985, et Driver, Squires *et al.*, 1994, la bibliographie très riche de Duit, 2009, ou encore, pour la physique dans le secondaire, l'ouvrage de Viennot, 1996.

9. Notre traduction. La citation originale est : « Often [...] the students' current concepts are inadequate to allow him to grasp some new phenomenon successfully. Then the student must replace or reorganize his central concepts. This more radical form of conceptual change we call accomodation ».

10. Il est vrai que Piaget et ses collaborateurs ont également étudié le développement cognitif des enfants dans des conditions qu'ils ne rencontrent pas dans leur vie quotidienne et qui nécessitent l'intervention d'adultes (ex : expériences sur l'élasticité ou avec le pendule, cf. Piaget et Inhelder, 1966, p. 137-139). Néanmoins, ces conditions diffèrent également de celles habituellement mises en place dans le cadre scolaire.

11. La théorie de Posner *et al.* est généralement identifiée dans la littérature comme une théorie « constructiviste » (cf. par exemple Palmer, 2005, p. 1854-1857), et ce, parce qu'elle suppose que l'acquisition par les élèves de nouvelles connaissances scientifiques implique de leur part une activité intellectuelle de réorganisation (ou « reconstruction », *ibid.*, p. 1854) conceptuelle. Cette hypothèse est moins forte que celle soutenue par d'autres auteurs « constructivistes » (par exemple, par von Glaserfeld, cf. ci-dessous) et non par Posner *et al.*, selon laquelle les élèves construisent eux-mêmes les connaissances scientifiques.

12. Notre traduction. La citation originale est : « the task of the educator is not to dispense knowledge but to provide students with opportunities and incentives to build it up ».

13. Notre traduction. La citation originale est : « What we call knowledge does not and cannot have the purpose of producing representations of an independent reality, but instead has an adaptative function ».

14. Notre traduction. La citation originale est : « The concepts of change and state, of space and time, and of a world in which things can perdure and « exist » while we do not focus attention on them [...] cannot reflect the ontological reality of which traditional philosophers dream ».

15. Notre traduction. La citation originale est : « What is not considered in a substantial way is the learners' interactions with *symbolic* realities, the cultural tools of science ».

16. Notre traduction. La citation originale est : « Learning is seen as the process by which individuals are introduced to a culture by more skilled members. As this happens they « appropriate » the cultural tools through their involvement in the activities of this culture ».

17. Le terme épistémologie est entendu ici au sens, non pas de *philosophie de la connaissance en général* (ce qui correspond à l'acception anglo-saxonne la plus courante du terme *epistemology*),

mais de *philosophie des connaissances scientifiques*, la discipline visant à décrire comment les connaissances scientifiques sont constituées, comment elles évoluent, quel est leur rapport avec la réalité (et quelle réalité), etc.

18. Par contraste avec l'inductivisme plus subtil des positivistes logiques (tels que Schlick, Carnap et Neurath) qui a évolué sous l'impulsion de critiques comme celles que nous allons expliciter plus loin. À noter que la plupart de ces critiques ont déjà été formulées au sein même du courant du positivisme logique, en particulier par Neurath.

19. À noter que Driver et Easley (1978, p. 80), sans se référer explicitement à Kuhn, lui empruntent son vocabulaire ainsi que son image de l'évolution des conceptions en parlant du « changement de paradigme dans la pensée des élèves » (ma traduction ; la citation originale est : « a paradigm shift in pupils' thinking »). Posner *et al.* se réfèrent certes à cet article de Driver et Easley, mais uniquement à propos des recherches sur les conceptions et non sur leur changement. Ils présentent l'analogie avec l'épistémologie de Kuhn comme une contribution originale.

20. Remarquons que Vosniadou et Ioannides n'évoquent pas les conflits sociocognitifs pouvant être générés par ce type de discussion sur les conceptions et ne se réfèrent pas aux travaux de Doise, Mugny et Perret-Clermont (cf. §II.2.1).

21. Le terme « enquête », synonyme du terme « investigation », correspond à la traduction habituelle du terme *inquiry* s'agissant des écrits de Dewey.

22. Cf. Mayhew et Edwards (1966).

23. Cette notion d'« objectifs-obstacles » a été reprise et développée par d'autres auteurs (cf. Astolfi et Develay, 1989, Chap. III, §III ou Astolfi *et al.*, 2008, Chap. 12, §3).

24. Mentionnons Peirce, James et Dewey, les fondateurs de la philosophie pragmatiste, ou Putnam et Habermas, des représentants contemporains de cette philosophie.

25. Ministère de l'éducation nationale (France).

RÉSUMÉS

Cet article explore les fondements théoriques du « constructivisme » et du « socio-constructivisme » qui sous-tendent la conception de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation. Le travail de synthèse proposé vise à démêler les multiples sources d'influence de cette approche en didactique des sciences, lesquelles proviennent, pour une part, du domaine de la psychologie du développement cognitif, et pour une autre part, de celui de l'épistémologie. L'objectif de cet article est également d'explicitier ce qui, d'après les différents auteurs étudiés, est supposé être « construit » par les élèves au cours d'un tel enseignement.

This paper explores the theoretical foundations of « constructivism » and « socio-constructivism » which underlie the conception of inquiry-based science teaching. The proposed synthesis aims at disentangling the multiple sources of influence of this approach in science education, which come from the field of psychology of cognitive development, on the one side, and from that of epistemology, on the other. The goal of this paper is also to make explicit what is assumed to be « constructed » by the students during such a teaching, according to the authors under study.

INDEX

Mots-clés : constructivisme, épistémologie, psychologie cognitive, socio-constructivisme

Keywords : cognitive psychology, constructivism, epistemology, socio-constructivism

AUTEUR

MANUEL BÄCHTOLD

LIRDEF (EA 3749), IUFM de l'académie de Montpellier – UM2 et Université Montpellier 3