Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences

The concept of conception in science education: the necessary epistemological component and its consequences

Christian Orange et Denise Orange Ravachol

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/ree/7934>

DOI : 10.4000/ree.7934

ISSN : 1954-3077

Éditeur

Université de Nantes

Référence électronique

Christian Orange et Denise Orange Ravachol, « Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences », *Recherches en éducation* [En ligne], 17 | 2013, mis en ligne le 01 octobre 2013, consulté le 22 septembre 2021. URL : <http://journals.openedition.org/ree/7934> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ree.7934>

Recherches en éducation est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences

Christian Orange & Denise Orange Ravachol¹

Résumé

Bien que venant de la psychologie, le concept de représentation a nécessairement, en didactique des sciences, une référence épistémologique. Partant du rôle fondateur de ce concept en didactique, cet article en discute la mise en place et montre les difficultés à échapper aux réifications de différentes natures. Puis, à partir d'un cadre didactique et épistémologique particulier, celui de la problématisation, il montre comment un tel cadre intervient dans le renouvellement des problématiques liées aux représentations.

En 1989, Jean-Pierre Astolfi et Michel Develay remarquent que « *le concept utilisé en didactique des sciences dont le succès a été le plus spectaculaire au cours des dix dernières années est assurément celui de représentation* ». Et, s'il faut attendre les années 2000 pour que le terme apparaisse dans les documents officiels de l'école primaire (programmes de 2002 notamment) et dans ceux du collège (programmes de 2005, par exemple), la prise en compte des représentations est bien, en France, la première trace explicite des recherches didactiques dans les programmes de sciences. Tout cela semble montrer que nous avons affaire à un concept didactique important.

Pourtant les représentations des élèves ne font plus, à proprement parler et depuis plusieurs années, l'objet de recherches didactiques. Et la variété des termes employés pour désigner des idées proches – conceptions, connaissances naïves, raisonnements spontanés – laisse au contraire penser qu'il s'agit plus d'une notion mal assurée que d'un véritable concept didactique.

Comment alors penser aujourd'hui la place des représentations dans le champ de la didactique des sciences ? Cela ne peut se faire, selon nous, sans prendre en compte la nécessaire composante épistémologique qu'apporte à ce concept son importation en didactique. Pour cela nous le situerons dans l'histoire de la didactique des sciences qui en montre sa double filiation : psychologique et épistémologique. Puis nous présenterons les risques de réification que porte en germe cette double référence si elle n'est pas clairement affirmée et clarifiée. Nous montrerons enfin ce qu'entraîne le choix d'un cadre épistémologique et didactique particulier, celui de la problématisation, quant aux fonctions didactiques des représentations.

1. Un concept fondateur mais mal défini ?

Ce rappel de l'origine du concept didactique de représentation n'a pas pour but d'en faire un historique détaillé. Il s'agit de poser quelques jalons pour comprendre son statut et le rôle qu'il a joué et joue encore en didactique des sciences. Cette présentation est compliquée par le fait que deux histoires existent, francophone et nord-américaine, qui, si elles sont en grande partie convergentes et s'enracinent l'une et l'autre dans la psychologie des apprentissages, présentent des références épistémologiques différentes.

¹ Christian Orange, professeur, Université Libre de Bruxelles - Denise Orange Ravachol, professeure, Laboratoire CIREL-Théodile, Université de Lille 3.

■ **Les représentations dans la didactique des sciences naissante en France**

• *Un double ancrage, psychologique et épistémologique*

Dans le cadre francophone, on admet généralement que les premières utilisations du concept de représentations pour des questions d'apprentissages scientifiques dans des situations d'enseignement sont dues à Jean Migne, dans la revue *Education Permanente*. En 1969, avant donc que les didactiques soient instaurées au sens actuel, il publie un article, *Les obstacles épistémologiques à la formation des concepts*, où il présente quelques thèmes épistémologiques de l'œuvre de Gaston Bachelard pouvant être utiles aux formateurs d'adultes ; le concept d'obstacle y est mis en relation avec celui de « représentations préscientifiques », importé de travaux de psychologie. L'année suivante (1970), Jean Migne signe dans la même revue une contribution, *Pédagogie et représentations*, qui porte sur l'importance des représentations dans l'assimilation des connaissances scientifiques par des adultes en formation. Il se réfère explicitement à des recherches menées dans les années 60 sous la direction de Serge Moscovici (Moscovici & al., 1962) et, plus largement, aux travaux de Jean Piaget. La question des représentations et des apprentissages est mise en relation avec une définition des concepts et des modèles scientifiques ; les références épistémologiques sont Jean Ullmo, mais aussi à Gaston Bachelard et Georges Canguilhem. Notons cependant que, contrairement à l'article de 1969, ce ne sont pas les obstacles épistémologiques de Gaston Bachelard qui sont convoqués, mais son rationalisme appliqué. Donc, dès le début, et cela ne sera pas contredit par la suite, l'utilisation didactique du concept de représentation a un double ancrage, psychologique et épistémologique.

Dans les années 70, la didactique des sciences s'institue progressivement et des textes portant sur les représentations des élèves sont publiés. En fait, dès ce moment, les termes utilisés sont variés. Ainsi, en 1976, Andrée Tiberghien et Grégory Delacôte signent dans la *Revue Française de Pédagogique* (RFP) un article, *Manipulations et représentations de circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans*. On peut se demander dans quel sens comprendre ici « représentation » : représentation schématique des circuits ou conceptions des élèves sur ces circuits ; mais une phrase de la conclusion nous aide : « *Sauf chez Fi et G1 on a pu observer tout au long du tâtonnement expérimental et de l'entretien l'existence d'une représentation simple du fonctionnement d'un circuit électrique contenant pile, fil, ampoule que nous avons appelé modèle unipolaire.* » (Tiberghien & Delacôte, 1976). Il s'agit donc bien de constructions intellectuelles des enfants qui auraient, pour les auteurs, une fonction de modèle (au sens scientifique du terme).

En 1978 paraît le numéro 45 de la RFP intitulé *Didactique des sciences et psychologie*. Cette publication, issue d'une table ronde organisée en 1977, est importante pour la mise en place de la didactique des sciences en France. Jean-Pierre Astolfi y signe un article sur *Les représentations des enfants en situation de classe* mais Andrée Tiberghien et Goéry Delacôte utilisent maintenant, dans le texte *Méthodes et résultats concernant l'étude des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique*, qu'ils présentent avec Edith Guesne, le terme de conceptions. Laurence Viennot s'intéresse quant à elle au « raisonnement spontané en dynamique élémentaire ». Ce qui fait écrire à Gérard Vergnaud, François Halbwachs & André Rouchier, dans ce même numéro : « *Les expressions de "représentation" et de "mode de raisonnement" ou d'autres analogues sont couramment utilisées pour désigner la façon dont un élève comprend et traite une notion ou une classe de situations. Les deux expressions sont parfois utilisées indistinctement l'une pour l'autre ; parfois, elles sont au contraire assez bien distinguées, le mode de raisonnement renvoyant plutôt aux procédures mentales de l'élève en situation de solution de problème, celui de représentation renvoyant pour sa part davantage à l'ensemble structuré de concepts et de préconcepts sur lequel s'appuie le raisonnement.* » (Vergnaud, Halbwachs, Rouchier, 1978, p.9). Cet article de Vergnaud & al. s'intitule *Structure de la matière enseignée, histoire des sciences et développement conceptuel chez l'élève*, ce qui confirme la double référence, psychologique et épistémologique, des travaux didactiques sur les représentations. Cependant, si les travaux de Jean Piaget font partie de la bibliographie de

plusieurs articles de ce numéro de la RFP, on y trouve peu de références épistémologiques (si on excepte Jean Piaget et la présence de Francis Halbwachs) et aucune à Gaston Bachelard et aux obstacles épistémologiques.

- *Représentations et obstacle épistémologique*

La même année (1978) paraît, aux Presses Universitaires de France, *Quelle éducation scientifique pour quelle société*. Parmi les auteurs (Astolfi, Giordan, Gohau, Host, Martinand, Rumelhard, Zadounaïsky) un seul, Jean-Pierre Astolfi, est également présent dans le numéro 45 de la RFP. L'ouvrage fait de nombreuses fois appel aux représentations des élèves (plus d'une vingtaine de pages concernées) et au concept d'obstacle épistémologique (quinze pages concernées) ; le lien entre ces deux concepts, qui semble aller de soi tout au long des chapitres, n'y est en fait explicite qu'une seule fois : « *Le scientifique reconnaît souvent dans les représentations des obstacles épistémologiques, c'est-à-dire des modes d'explications liés à des stéréotypes sociaux (mythes, etc.) ou à une interprétation des données de l'expérience fondée sur la perception immédiate et relevant du réalisme naïf* » (p.191).

Le concept de représentation prend alors, dans les années 80, une place importante en didactique des sciences francophone (voir par exemple Giordan & al., 1983 ; Equipe ASTER, 1985 et les premiers numéros de la revue ASTER) et est, pour beaucoup de didacticiens, fortement lié au concept d'obstacle. Quand il s'agit de penser les apprentissages des élèves et les dispositifs didactiques, la question des représentations des élèves et de leur évolution est ainsi souvent traduite en termes de dépassement d'obstacles. Cela conduit Jean-Louis Martinand à proposer l'idée d'objectif-obstacle (Martinand, 1986). L'important colloque international, *Obstacle épistémologique et conflit socio-cognitif*, organisé à Montréal du 6 au 9 septembre 1988 (Bednarz & Garnier, 1989), regroupe des psychologues et des didacticiens (mais pas d'épistémologues) : il témoigne de la centration sur les obstacles que prend alors la didactique des sciences francophone, au-delà des divergences d'appellation des « connaissances naïves » des élèves.

C'est alors que se développe à l'INRP, sous la direction de Jean-Pierre Astolfi, Brigitte Peterfalvi et Anne Vérin, la recherche ROOSA (*Recherche Objectifs-Obstacles et Situations d'Apprentissage*) qui, dans le champ conceptuel des transformations de la matière, étudie les conditions didactiques du travail d'objectifs-obstacles. Comme le note Brigitte Peterfalvi (1997, p.3) à la fin de cette recherche : « *Les problématiques développées en didactique des sciences depuis une quinzaine d'années ont remis à l'ordre du jour l'idée d'obstacle épistémologique, proposée par Bachelard en 1938. Renouvelant le courant de recherches sur les représentations ou conceptions des apprenants, ce concept est venu donner sens et cohérence à ce qui pouvait apparaître comme singularités ou bizarreries dans la pensée des apprenants. Il introduit un aspect dynamique, passant d'un point de vue réifiant sur des objets mentaux, parfois rassemblés en catalogues, à un point de vue sur des fonctionnements. Il met en particulier l'accent sur les inerties, les processus de résistance de la pensée par rapport à ce qui peut remettre en question ses assises et ouvre des perspectives pour la prise en compte des représentations dans les processus d'enseignement/apprentissage.* »

Si on laisse provisoirement de côté la question de la variété des dénominations retenues, le concept de représentation, emprunté aux sciences humaines, notamment au cadre piagétien², est ainsi venu prendre toute sa place lors de la naissance de la didactique des sciences en France, en se nourrissant de références épistémologiques, particulièrement celles de Gaston Bachelard à travers ses obstacles épistémologiques.

² Nous ne voulons pas dire que ce cadre est le seul ni le premier à utiliser le concept de représentation en sciences humaines, mais qu'il représente l'influence principale des didactiques. Pour une discussion plus large, voir Ridao, 1993.

■ **Le changement conceptuel des anglo-saxons**

• *Changement conceptuel et révolution scientifique*

C'est également à la fin des années 70 et au début des années 80 que se développe dans les recherches anglo-saxonnes en « science éducation » une problématique proche de celle des représentations. Les termes, bien sûr, ne sont pas les mêmes : on y parle de « *conceptions in sciences* », de « *alternative* » ou « *conceptual frameworks* » ou de « *children's ideas in science* » (Driver, 1973 ; Posner & al., 1982 ; Driver & Erickson, 1983). Comme dans les recherches didactiques françaises, ces travaux s'appuient sur un double champ de référence, psychologique et épistémologique, ce qui le fonde didactiquement. Les références psychologiques sont là encore les travaux de Jean Piaget et de son équipe mais aussi ceux de David Ausubel (Posner & al., 1982), lui-même disciple de Jean Piaget. En ce qui concerne l'épistémologie, les références ne sont cependant pas Gaston Bachelard et ses obstacles, mais Thomas S. Kuhn (1983) et ses « révolutions scientifiques », Imre Lakatos, ses « programmes de recherche » et ses « noyaux durs » (1994), Stephen E. Toulmin (1976) et ses « intelligibles fondamentaux ».

Les conceptions des élèves sont alors comparées aux paradigmes de Thomas S. Kuhn (1983) et les changements de conceptions aux révolutions scientifiques dans l'histoire des sciences. L'apprentissage est pensé comme changement conceptuel (« *conceptual change* ») et George J. Posner et al. (1982) érigent ce point de vue en cadre théorique. Ils étudient les conditions d'un tel changement : ils notent qu'il doit y avoir insatisfaction des conceptions existantes et qu'une nouvelle conception doit être disponible, tout en étant plausible et en présentant des qualités heuristiques. Ces auteurs distinguent deux moments différents de changement conceptuel : ce qu'ils nomment assimilation³, et qui revient à l'utilisation de concepts déjà construits pour appréhender de nouveaux phénomènes ; et l'accommodation, qui correspond aux moments où l'élève doit remplacer ou réorganiser ses conceptions.

• *Changement conceptuel ou épistémologique ?*

George J. Posner (1983) indique qu'à côté des conditions rationnelles du changement conceptuel, comme l'inadéquation des conceptions pour résoudre un problème, interviennent des engagements épistémologiques et métaphysiques qui font considérer que telle solution est satisfaisante intellectuellement ou jugée élégante.

Marie Larochelle et Jacques Désautels (1992) préfèrent les termes de complexification conceptuelle ou de développement conceptuel ; ils s'appuient pour cela sur le concept de cadre épistémique de Jean Piaget et Rolando Garcia (1983) qui est constitué, selon eux, de postulats épistémologiques, de croyances métaphysiques, de règles méthodologiques, d'habitudes de pensée, d'un langage, etc.

■ **Conclusion**

Les développements didactiques autour des représentations ou des questions connexes, aussi bien en France que dans les recherches anglo-saxonnes, mettent en avant des points importants concernant les apprentissages scientifiques. Nous les résumons ci-dessous en utilisant le terme « conception » qui convient aux différentes approches.

- L'apprentissage ne se fait pas à partir de rien : l'élève a des façons de penser les questions scientifiques et des connaissances avant enseignement, de sorte que celui-ci ne vise pas simplement à apporter des connaissances mais à changer les conceptions des élèves.
- Ces conceptions ont une résistance au changement car elles sont, dans une certaine mesure, cohérentes et efficaces. La didactique française relie ce point au concept d'obstacle épistémologique, ce qui lui donne une signification particulièrement forte.

³ Ces auteurs utilisent assimilation et accommodation tout en précisant qu'ils n'ont pas l'intention de faire là référence aux théories de Piaget alors même qu'ils se réfèrent clairement par ailleurs à cet auteur dans leur article.

- L'épistémologie de références est plus ou moins discontinuiste, malgré des appuis sur les travaux de Jean Piaget : l'apprentissage se fait, au moins à certains moments, par changement profond de conceptions, par rupture ; que la référence soit Gaston Bachelard ou Thomas S. Kuhn.

Si la référence aux obstacles épistémologiques de Gaston Bachelard pourrait laisser penser que les positions de la didactique française sont plus radicales que les anglo-saxonnes, cela est largement compensé par une compréhension souvent *a minima* de ce concept et à la méconnaissance de l'œuvre de Gaston Bachelard dans beaucoup de travaux, comme le remarque implicitement Brigitte Peterfalvi : « *Si un accord général pour la prise en compte des obstacles dans l'enseignement des sciences semble se manifester dans les milieux didactiques et pourrait même constituer une certaine vogue, le terme n'est pas toujours pris tout à fait dans le même sens. [...] La tendance à la réification et à l'assimilation à de simples difficultés qui s'exprimait auparavant à propos des représentations ou conceptions est en outre toujours latente.* » (Peterfalvi, 1997, p.3)

Il nous faut maintenant revenir aux discussions qui ont eu lieu, dans le cadre francophone, sur les termes à employer. Dès les années 70, nous l'avons vu, plusieurs dénominations étaient utilisées sans que cela n'entraîne de discussions théoriques sur ces choix. A la fin des années 80, plusieurs chercheurs ont proposé d'entériner le terme de conception (Giordan & Martinand, 1988 ; Giordan & De Vecchi, 1987). Ils partent de l'idée que les représentations sont utilisées dans plusieurs champs ce qui conduit à une polysémie et en ferait, pour la didactique, un concept flou (Giordan & Martinand, 1988, p.29). Pour d'autres chercheurs (Ridao, 1993), renoncer aux représentations au profit d'une autre appellation couperait ce concept didactique de ses racines qu'il ne peut nier : psychologie et psychologie sociale notamment. On peut faire à ce sujet deux remarques.

Une remarque théorique : la problématique des représentations et/ou du changement conceptuel en didactique a une double origine, psychologique et épistémologique ; plus que le flou pointé par André Giordan et Jean-Louis Martinand, c'est l'institution de ce concept à double entrée qui pourrait justifier le changement de terme.

Une remarque pragmatique : si tel ou tel didacticien a sa préférence (représentations vs conceptions), il faut noter que la plupart utilisent l'une et l'autre des dénominations, ne serait-ce que pour éviter des effets de répétition dans les écrits.

C'est un autre aspect que nous voulons maintenant mettre à la discussion : le risque, pointé régulièrement dans les textes didactiques, de réification qui guette en permanence la problématique des représentations. Comme le concept lui-même, ce risque a une double origine, psychologique et épistémologique.

2. Les « représentations » et les « choses » : les risques de réification

En mettant en avant la pensée des élèves et des étudiants avant enseignement, le concept de représentation a, comme nous l'avons vu, changé considérablement les problématiques des apprentissages et des enseignements. Ce faisant il a pris une place importante dans le développement de la didactique, au risque de réifications, c'est-à-dire de sa transformation en chose, figeant ainsi le processus d'apprentissage des savoirs scientifiques qu'il est censé faire comprendre.

Ce phénomène de réification est général dans la pensée humaine et il conduit à des raccourcis bien souvent utiles. Mais il fonctionne aussi comme un obstacle au développement de cette pensée. Nous allons préciser les risques de réification pouvant atteindre les problématiques des représentations (ou des conceptions) en didactique des sciences : certains concernent les

représentations elles-mêmes et d'autres les connaissances auxquelles elles correspondent et les savoirs auxquels on les compare.⁴

■ **Les représentations comme des « choses »**

Le premier type de réification concernant les représentations ou les conceptions les considère, plus ou moins explicitement, comme des idées préexistantes qu'il suffirait de recueillir. Cela a été repéré et dénoncé très tôt dans les recherches didactiques : « *il est imprudent d'examiner les représentations comme des « choses en soi » en les sortant de leur contexte socio-cognitif* » (Equipe Aster, 1985, p.7). Cette réification prend en fait deux formes complémentaires.

La confusion entre production (orale, écrite, gestuelle, etc.) d'un élève et ses représentations : on dit que l'on a recueilli les représentations et on pense les montrer en affichant au tableau ou dans un ouvrage, par exemple, les productions individuelles et de groupes que l'on qualifie directement de représentations ou de conceptions (voir par exemple Giordan, 1999, p.154). Un tel raccourci évacue à la fois la question de l'interprétation de la production par le chercheur ou l'enseignant (et donc celle du cadre d'interprétation qui n'a alors pas à être explicité) et la question des conditions de réalisation des productions, comme si elles étaient des traductions transparentes de construction mentales préalables. L'ambiguïté du terme « représentation » (représentation mentale / représenter quelque chose sur une feuille ou au tableau) n'aide certainement pas à dépasser cette confusion.

L'idée que ces représentations existeraient telles quelles avant la situation qui conduit les élèves à les construire en réalisant une production. Cette idée néglige à la fois le travail du problème qu'on soumet aux élèves et l'importance de la réalisation de la production demandée (texte, schéma ou autres) dans l'élaboration de leur pensée.

Tout cela conduit les didacticiens à mettre l'accent davantage sur le processus que sur l'objet « représentations » (Johsua & Dupin, 1993, p.127). Cela ne veut pas dire que l'on fasse des représentations une construction qui dépendrait exclusivement des conditions de son élaboration mais conduit à rechercher, à partir des réponses aux différentes situations, une cohérence et une origine possible dans les habitudes de pensée des élèves, dans leurs modes de raisonnement usuels, dans leurs connaissances acquises ici ou là, etc.

■ **Les représentations et les « savoirs choses »**

D'autres types de réifications menacent les réflexions didactiques sur les représentations ; elles sont de nature épistémologique et renvoient aux questions suivantes : quelle est la nature des représentations qui intéressent le didacticien des sciences ? De quoi sont-elles des représentations ? D'un point de vue psychologique ou de psychologie sociale (Moscovici, 1961), on parle de représentation de quelque chose par quelqu'un ; à tout objet, tout être vivant ou tout événement auquel quelqu'un est confronté correspond une représentation par cette personne. La représentation permet de penser, individuellement ou collectivement cet objet, même en son absence (vicariance), et de construire des discours et des interactions l'impliquant.

Mais, comme nous l'avons vu, le concept didactique de représentation a également une racine épistémologique qui vient de la nécessité de le penser selon les rôles qu'il peut jouer dans l'accès aux savoirs scientifiques. Les épistémologies qui servent de références aux didacticiens (Bachelard, Popper, Kuhn, etc.) mettent en avant les relations entre savoirs et problèmes (voir Orange, 2002) ; et particulièrement entre savoirs et problèmes de recherche d'explications (problèmes explicatifs). Cela permet de préciser quels types de représentations intéressent particulièrement les didacticiens. Prenons un exemple. On peut demander à des élèves de fin de primaire ou de collège de dessiner ce qu'est pour eux un volcan après qu'ils ont vu des photos ou un film d'éruption volcanique ; ou simplement à partir de leurs connaissances antérieures. Voici, par exemple, ce qu'ils peuvent produire (figure 1) :

⁴ Nous nommons ici connaissances ce qui est propre à un individu. Et savoirs ce qui correspond à une construction culturelle (second vs troisième monde de Popper, 1991).

Figure 1 - « Dessine un volcan » par un élève de cours moyen (10 ans)

On peut aussi demander à des élèves d'une autre classe d'expliquer comment fonctionne un volcan, d'où peut venir la lave et pourquoi elle est très chaude (voir la figure 2).

Figure 2 - « Explique comment fonctionne un volcan » par un élève de cours moyen (10 ans)

Dans le premier cas (figure 1), la production de l'élève correspond à sa représentation des phénomènes volcaniques, c'est-à-dire de ce qu'il en a compris à partir d'un reportage ou d'un documentaire. Cette représentation est une construction qui donne, pour l'élève, une certaine cohérence à ce qu'il a vu ou connaît. Mais elle n'a pas, d'un point de vue épistémologique, valeur

d'explication de ces phénomènes : c'est une représentation d'une phénoménologie, associée une production sous forme de texte et/ou de schéma.

Dans le second cas (figure 2), l'élève cherche à rendre compte des phénomènes volcaniques en construisant une représentation et une production écrite (schéma légendé) de ce qui se passe à l'intérieur du volcan et de la Terre. Du point de vue épistémologique, cette production et cette représentation n'ont pas le même statut que dans le premier cas, puisqu'elles tentent d'expliquer, par un fonctionnement interne non directement accessible, certains éléments d'une phénoménologie (voir Orange & Orange Ravachol, 2004).

Donner une cohérence psychologique et épistémologique aux représentations en didactique nécessite de bien distinguer ces deux cas et de s'intéresser particulièrement aux représentations du second type : celles qui mettent en relation une phénoménologie et une construction explicative, donc celles qui correspondent au travail d'un problème explicatif (Ridao, 1993). Cela veut dire que si des questions du type « dessine ce qu'il y a à l'intérieur de ton corps » ou « qu'évoque pour toi l'eau » peuvent avoir de l'intérêt pour étudier les représentations en psychologie, elles en ont peu en didactique des sciences.

La distinction que nous venons d'introduire peut sembler claire sur l'exemple choisi. D'autres cas méritent davantage discussion. On voit ainsi tel ouvrage (Giordan & De Vecchi, 1987) s'étonner qu'un nombre important de Français (un tiers quel que soit l'âge) se disent d'accord avec l'affirmation que le Soleil tourne autour de la Terre. Cette affirmation n'a scientifiquement pas de sens dans l'absolu : c'est uniquement une question de référentiel (voir, par exemple, Gapailard, 1993) ; et, surtout, on ne voit pas à quel problème scientifique elle est associée. Si donc la question posée peut sembler renvoyer à un fonctionnement, elle ne correspond pas à un problème explicatif. Un problème scientifiquement consistant serait d'avoir à rendre compte de l'alternance jour-nuit ou des saisons en climat tempéré par le mouvement relatif de la Terre et du Soleil.

En biologie de la nutrition, la question la plus souvent posée à des élèves de primaire ou de début du secondaire pour étudier leurs représentations est du type : « tu manges du pain et de l'eau, dis ce qu'ils deviennent dans ton corps ? » (site *Main à la pâte*, séquence « Que deviennent les aliments que nous mangeons ? »⁵ ; Giordan & De Vecchi, 1987). Là encore, il ne s'agit pas d'un problème explicatif de la nutrition mais d'une question faussement fonctionnelle, la signification de cette fonction (nécessité d'un apport de matière ou d'énergie pour le fonctionnement de tout être vivant) n'étant pas mise en avant. Il s'agit simplement de décrire un trajet (Ridao, 1993, p.123 ; Orange, 2012) et on ne voit pas quel phénomène il s'agit d'expliquer. Les élèves, devant répondre, tentent de construire ce problème en le reliant aux sorties du corps, d'où les nombreuses productions sous forme de tuyau entre bouche et anus, sans autre destination des aliments.

Comme le note Christian Ridao (1993, p.129), pour avoir un intérêt didactique, les représentations des élèves sur lesquelles on veut les faire travailler doivent correspondre à « *l'étude d'un fonctionnement dont l'apprenant maîtrise la signification, socialement acceptée* ». Etudier les représentations des élèves en sciences à partir de questions uniquement descriptives ou faussement fonctionnelles ne permet pas de comprendre les rôles qu'elles jouent dans les apprentissages scientifiques. Sauf à accepter, consciemment ou non, l'une et l'autre des réifications suivantes :

Celle que nous avons pointée dans la section précédente et qui consiste à penser que, quelle que doit la question on accède à une « chose représentation » du domaine que l'on étudie, indépendamment du problème sur lequel on fait travailler les élèves (réification d'ordre psychologique).

⁵http://www.fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/ressources/activites/11156_Que_deviennent_les_aliments_que_nous_mangeons_2002_436_1371_cycle3_aliments.pdf. Consulté le 30 avril 2013.

Celle qui consiste à ne voir dans les savoirs scientifiques que des résultats avérés, et dans les représentations des élèves que l'état de leurs connaissances à un moment ; bref à déconnecter les uns et les autres de tout problème scientifique. Cela revient à penser que les productions des élèves peuvent être comparées à des modèles des scientifiques qui décriraient la réalité telle qu'elle est, indépendamment du problème que ces modèles sont censés mettre au travail (réification d'ordre épistémologique).

On voit donc que le concept de représentation en didactique des sciences a besoin d'être spécifié et qu'il ne peut correspondre exactement au concept de représentation tel qu'il existe dans d'autres domaines. Ses références épistémologiques, indispensables, nécessitent un lien fort avec les problèmes scientifiques, particulièrement les problèmes explicatifs. Cela pourrait justifier le changement de nom proposé par certains auteurs, au risque de faire oublier une partie des origines du concept. Mais il apparaît également que préférer le terme de conception ne prémunit aucunement contre les risques de réification que nous avons décrits.

C'est le lien entre représentations et problèmes scientifiques que nous voulons explorer maintenant pour poursuivre cette discussion sur la place de ce concept en didactique des sciences.

3. Les représentations, les problèmes et les savoirs scientifiques

Malgré tous ses avatars, en recherche et dans l'enseignement, le concept de représentation a eu une place majeure dans le développement de la didactique des sciences et fait donc partie de son cadre conceptuel. Nous avons vu la nécessité de le penser en lien avec les problèmes explicatifs pour en faire véritablement un concept didactique. Il nous faut maintenant en tirer les conséquences en nous situant dans un cadre épistémologique plus précis, le but étant de poursuivre l'étude de l'ancrage épistémologique des représentations en didactique. Cela pourrait être réalisé en s'appuyant sur le concept d'obstacle épistémologique, comme le fait Brigitte Peterfalvi (2001). Nous choisissons ici le cadre de la problématisation (Fabre & Orange, 1997 ; Orange, 2002, 2005), aucunement incompatible avec le concept d'obstacle, mais offrant un point de vue complémentaire.

Dans ce cadre, il s'agit de comprendre les liens mais aussi les différences de statut épistémologique qui existent entre les représentations des élèves et les savoirs scientifiques auxquels ils doivent accéder. Nous le ferons, d'une part, en comparant les représentations avec les modèles des scientifiques, de nombreux didacticiens (voir par exemple Johsua & Dupin, 1989) considérant les représentations comme des modèles ou des pré-modèles ; d'autre part, en mettant en avant une caractéristique essentielle des savoirs scientifiques : leur apodicticité.

Nous développons ces deux points dans les paragraphes suivants ainsi que leurs conséquences didactiques.

■ Représentations, problèmes et modélisation

Ce qu'est un modèle scientifique est loin de faire accord, mais on peut considérer, pour ce qui nous intéresse ici, qu'un modèle est une construction – sous forme de schémas, de texte, d'équations, etc. ou d'une combinaison de ces formes – destinée à rendre compte de certains phénomènes (Orange, 1997).

La construction par un élève d'une production explicative et de la représentation correspondante partage avec la modélisation des scientifiques le fait d'articuler des éléments appartenant à une registre empirique (celui des phénomènes dont on cherche à rendre compte, à expliquer) avec des éléments appartenant au registre des modèles (celui des constructions explicatives), selon le schéma (figure 3) proposé par Jean-Louis Martinand (1992, 1994).

Figure 3 - Schéma de la modélisation de Jean-Louis Martinand (1994)

La production de la figure 2, ci-dessus, explication du fonctionnement d'un volcan par un élève, permet d'inférer que celui-ci prend en charge le problème explicatif du fonctionnement d'un volcan. Pour cela il tient compte d'un certain nombre de caractéristiques de ce que sont pour lui les phénomènes volcaniques : sortie de lave, projection de roches, vraisemblablement température élevée figurée par la couleur rouge des matériaux éjectés ; il s'agit d'éléments du registre empirique du problème. Il développe également des fonctionnements imaginés de la Terre censés rendre compte de ces phénomènes, de les expliquer : remontée de lave depuis la profondeur⁶ vers une sorte de réservoir, sortie de la lave de ce réservoir vers la surface par un tuyau ; vraisemblablement (toujours d'après les couleurs) explication de la température élevée par l'origine profonde des matériaux ; ce sont des constructions correspondant au registre des modèles.

Cette distinction entre registre empirique et registre des modèles, et leur articulation, sont fondamentales et caractérisent les problèmes en sciences de la nature. Il faut ajouter que la modélisation qui résulte du travail de ces problèmes se fait nécessairement dans un cadre explicatif plus ou moins explicite ; c'est lui qui donne des repères pour construire les modèles et leur confère leur valeur explicative : ainsi les volcanologues actuels expliquent les phénomènes volcaniques par des modèles physico-chimiques dans le cadre de la tectonique des plaques ; l'élève auteur de la figure 2 le fait avec une certaine idée de ce qu'est l'intérieur de la Terre et semble mobiliser des explications essentiellement physiques. En ce qui concerne les scientifiques, le cadre explicatif utilisé pour construire une explication correspond généralement à un paradigme, comme l'a défini Thomas S. Kuhn (1983) ; pour les élèves, il est difficile de parler de paradigme dans la mesure où le partage par une communauté identifiée n'est pas assuré ; nous avons proposé le terme registre explicatif⁷. Cela nous avait conduit (Orange, 1994, 1997) à compléter le schéma de la modélisation de Jean-Louis Martinand, en la considérant comme la construction de modèles se référant à la fois à un registre empirique (ce dont ils tentent de rendre compte) et à un registre explicatif (à partir duquel ils développent une explication).

⁶ D'où vient cette lave ? Le schéma ne le précise pas, ce qui ne veut pas dire que les représentations de l'élève ne prennent pas en compte cette question.

⁷ Ce registre explicatif a certainement un lien avec ce que Piaget nomme le cadre épistémique (Piaget & Garcia, 1983).

Figure 4 - Schéma de la modélisation (Orange, 1994, 1997)

Si la mise en jeu de ces différents registres rapproche les productions explicatives des élèves et la modélisation scientifique, une différence importante doit être marquée : idéalement, dans la modélisation scientifique, ces trois registres sont clairement identifiés et explicités, ce qui n'est certainement pas le cas dans les représentations et les productions explicatives des élèves où règne un certain syncrétisme (Orange, 2000, 2003). Idéalement, car dans toute modélisation scientifique il reste toujours une part d'évidence non questionnée, auto-explicative (Toulmin, 1973), et d'éléments du paradigme non explicité (Kuhn, 1983). Cela dit il y a, dans les modèles que les scientifiques construisent, une volonté d'explicitation qui les distingue des représentations et des productions explicatives des élèves. Faire travailler les élèves sur leurs représentations ne peut donc pas uniquement avoir pour but de les rapprocher des solutions des scientifiques mais aussi de leur faire clarifier les différents registres qu'ils mobilisent.

■ Représentations et problématisation

Il nous faut continuer par une autre caractéristique, essentielle, des savoirs scientifiques de façon à préciser les relations entre représentations et savoirs scientifiques. Il s'agit de leur apodicticité (Bachelard, 1949) ou, plus clairement, du fait qu'ils présentent, au moins partiellement, un caractère de nécessité (Orange, 2002, 2012). Revenons aux volcans et aux savoirs sur leur fonctionnement. La prise en compte de leur répartition sur le globe terrestre (répartition selon des lignes correspondant à certaines figures géomorphologiques) et de la nature solide du manteau terrestre (repérée par l'étude des séismes à travers des modèles de propagation des ondes) conduit, dans le cadre physico-chimique du paradigme de la tectonique des plaques, à la nécessité d'une production locale de magma dans le manteau, à l'aplomb des volcans. Plus précisément, il y a nécessité de conditions physico-chimiques particulières dans ces lieux de production de magma, correspondant à des formes spécifiques de relations entre la lithosphère (les plaques) et l'asthénosphère (la partie du manteau située sous les plaques). S'y connaître en volcans, pour reprendre une expression d'Olivier Reboul (1980), ne peut se limiter à connaître l'explication actuelle du fonctionnement des volcans, mais consiste avant tout dans la capacité à explorer et identifier le champ des modèles possibles et, notamment, à identifier ces nécessités. Ce sont ces nécessités qui fondent en raison les savoirs sur le fonctionnement des volcans et en font des savoirs scientifiques. Cette structuration du champ des possibles d'un problème

scientifique correspond à sa construction (la problématisation) ; à sa compréhension dit Karl Popper (1991, p.390-391).

Par comparaison, les productions et les représentations construites par les élèves pour expliquer le fonctionnement des volcans peuvent certainement donner lieu de leur part à des argumentations qui les justifient ou les discutent (voir par exemple Orange Ravachol & Orange, 2011). Mais, tant que ces argumentations ne sont pas produites explicitement, soumises à la critique et contrôlées socialement (Bachelard, 1938, p.241), on ne peut pas dire que les représentations sont fondées en raison et qu'elles correspondent à des savoirs⁸ apodictiques.

Cette remarque a deux conséquences didactiques. D'une part, nous sommes devant une seconde différence épistémologique entre représentations et savoirs scientifiques : en plus de l'explicitation des registres apparaissent ici l'explicitation et le contrôle par la communauté scientifique des raisons qui les fondent. L'accès à des savoirs scientifiques correspond au passage d'une opinion (au sens que lui donne Gaston Bachelard, 1938) à des connaissances fondées en raison au sein d'une communauté scientifique plus ou moins large. Resterait à définir didactiquement quelle pourrait être cette communauté pour les élèves : la classe mais aussi, nécessairement, une communauté plus large représentée notamment par les documents venant de l'extérieur à la classe ; le tout constituant une communauté scientifique scolaire.

D'autre part, dans la mesure où les représentations explicatives et les productions correspondantes peuvent donner lieu à des justifications et à des critiques argumentées, ce sont ces représentations et ces arguments qui permettent à la communauté scientifique du chercheur ou à la communauté scientifique scolaire, de travailler et d'instituer les raisons qui structurent les savoirs scientifiques (Orange, 2012).

Du coup, le travail des représentations, mis en avant dès les débuts de la didactique des sciences, change de fonction. Il ne s'agit pas simplement de travailler les représentations pour en changer, mais de les travailler pour en identifier, par une explicitation et une étude critique des raisons qui les sous-tendent : les nécessités sur les modèles, les contraintes empiriques pertinentes, soit les conditions de possibilité des modèles explicatifs ; ce qui délimite le champ des possibles du problème.

Le tableau ci-dessous (Orange, 2000, modifié) reprend cette idée en comparant le travail des représentations, classiquement identifié en didactique des sciences, et ce qu'apporte le point de vue de la construction des problèmes et de l'apodicticité des savoirs scientifiques.

Figure 5 - Comparaison du point de vue du travail des représentations et celui de la problématisation (Orange, 2000, modifié)

Point de vue du « Travail sur les représentations »	Point de vue de la « Construction des problèmes »
<u>Objectifs</u> <i>Faire passer les élèves d'une représentation C1 à une représentation C2</i>	<u>Objectifs</u> <i>Faire passer les élèves d'une opinion O à un savoir scientifique S</i>
<u>Travail didactique</u> <i>Faire prendre conscience à l'élève de ses représentations et de leurs limites (qui de nous a raison?)</i>	<u>Travail didactique</u> <i>Faire construire le problème et, en particulier, les raisons. (quelles raisons se cachent derrière nos idées ?)</i>
C1 et C2 sont de même nature C2 est plus proche des savoirs actuels que C1	O et S ne sont pas de même nature S est un savoir raisonné

⁸ D'une part, ce ne sont pas des savoirs, car elles restent des connaissances individuelles (deuxième monde de Popper, 1991) et, d'autre part, elles n'ont pas un caractère de nécessité.

■ **Nécessité et conséquences d'une composante épistémologique au concept de représentation**

Les exigences épistémologiques qui fondent, selon nous, toute étude didactique ont, nous l'avons vu, nécessairement des conséquences sur la façon de comprendre les représentations en didactique des sciences. Ce ne sont pas n'importe quelles représentations qui intéressent le didacticien mais les représentations liées à des problèmes explicatifs. Et ce n'est pas tant les représentations en elles-mêmes qu'il lui faut étudier, mais la façon dont elles interviennent dans l'accès aux savoirs scientifiques.

Pour ce qui est du cadre de la problématisation que nous avons retenu ici, l'important n'est pas dans l'écart de ces représentations avec les savoirs scientifiques mais dans la capacité des élèves à produire, pour un certain problème, des explications dans tel ou tel registre explicatif et des argumentations soutenant ou discutant des explications. Il s'agit alors d'étudier dans quelle mesure le travail de ces représentations permet aux élèves d'accéder à tel niveau de problématisation de tel concept et si cela nécessite ou non un changement de leur registre explicatif (Fabre & Orange, 1997). C'est donc un travail domaine par domaine et âge par âge qu'il s'agit de faire, qui ne se limite pas à l'analyse de productions d'élèves mais étudie les représentations au travers des débats qu'elles rendent possibles et du travail langagier, notamment argumentatif, qu'elles permettent de produire (Orange, 2005 ; Orange & al., 2008, Orange, 2012).

Le choix d'un autre cadre épistémologique (une référence à Thomas S. Kuhn, par exemple, ou la mise en avant des obstacles épistémologiques de Gaston Bachelard) conduirait à donner une autre place aux représentations et un autre point de vue⁹ sur leurs fonctions didactiques.

Conclusion

Le concept de représentation a eu une importance fondatrice en didactique des sciences, plus que dans d'autres didactiques. On peut comprendre pourquoi : l'enseignement des sciences convoque des objets et des phénomènes sur lesquels, d'une manière ou d'une autre, les élèves ont déjà une expérience et sont donc capables de développer des représentations qui interfèrent avec les apprentissages. Et ce concept de représentation, en donnant de l'importance à ce que l'élève peut penser, a permis d'ancrer les travaux de didactique des sciences dans le grand courant constructiviste concomitant de sa naissance.

Il apparaît aussi que, si le concept de représentation vient bien de la psychologie et de la psychologie sociale, il se dote en didactique des sciences, et ce dès le départ, d'une composante épistémologique. Cela a plusieurs conséquences : d'une part, cette double dimension psychologique et épistémologique peut entretenir un certain flou dans ce concept en didactique¹⁰, les discussions sur la dénomination n'en étant qu'une traduction de surface. Ce flou peut se traduire, comme pour beaucoup de concepts, par des réifications. D'autre part, les interprétations de ce concept vont dépendre des références épistémologiques et psychologiques que l'on se donne. D'où la nécessité d'explicitier ces références, au-delà d'une simple révérence d'usage à un constructivisme imprécis. Cet article s'est focalisé sur un point de vue épistémologique mais un travail analogue pourrait être fait d'un point de vue psychologique et sur l'articulation des deux dimensions. Jacques Lautrey (2008, p.33), par exemple, note : « *Piaget interprétait les réponses des enfants les plus jeunes comme témoignant d'une absence de structuration initiale [...] Les chercheurs qui ont plus tard inscrit l'étude du développement dans la mouvance du cognitivisme ont par contre mis en évidence, aux mêmes âges, des*

⁹ Ces points de vue ne sont pas nécessairement contradictoires et exclusifs, pour peu que les cadres épistémologiques ne le soient pas ; ils peuvent être complémentaires. C'est le cas par exemple de l'approche de la problématisation et de celle des obstacles épistémologiques.

¹⁰ Voir par exemple ce que dit Astolfi (1997) de la double référence Piaget, Bachelard en didactique.

comportements considérés comme manifestant l'existence précoce de principes fondateurs, de catégories ontologiques, ou de théories naïves. ». Il faudrait aussi s'intéresser aux conséquences d'une référence de plus en plus importante en didactique à Lev Vygotski (voir, par exemple, Brossard, 2004) et à la prise en compte des activités langagières.

Pour revenir à la composante épistémologique, le choix du cadre de référence, nous l'avons vu, intervient nettement sur les fonctions didactiques des représentations. Et si, comme nous le disions en introduction, il n'y a plus beaucoup de recherches didactiques portant directement sur les représentations, c'est que ce ne sont pas toutes les représentations et toutes leurs caractéristiques qui intéressent les didacticiens. Cela les a amenés à spécifier leurs études et à ne plus faire souvent référence directement au concept de représentation (ou de conception), qui reste cependant présent en arrière-plan¹¹. Cette interprétation est confirmée par le fait que « *la recherche sur les connaissances naïves s'est beaucoup développée ces deux dernières décennies* » (Lautrey & al., 2008, p.6) dans le champ de la psychologie du développement (voir aussi, par exemple, Mazens & al., 2009) où la contrainte épistémologique est plus faible puisque qu'elles peuvent y être simplement définies par le fait qu'une « *certaine notion est conceptualisée, de manière différente de la notion scientifique correspondante* » (Lautrey & al., p.5).

Bibliographie

ASTOLFI J.- P. (1997), *L'erreur, un outil pour enseigner*, Paris, ESF.

ASTOLFI J.-P. & DEVELAY M. (1989), *La didactique des sciences*, Paris, Presses Universitaires de France.

ASTOLFI J.-P., GIORDAN A., GOHAU G., HOST V., MARTINAND J.-L., RUMELHARD G. & ZADOUNAISKI G. (1978), *Quelle éducation scientifique pour quelle société*, Paris, Presses Universitaires de France.

BACHELARD G. (1938), *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, (1986).

BACHELARD G. (1949), *Le rationalisme appliqué*, Paris, Presses Universitaires de France, (1986).

BEDNARZ N. & GARNIER C. (1989) (dir.), *Construction des savoirs, obstacles et conflits*, Ottawa, Agence d'Arc.

BROSSARD M. (2004), *Vygotski, lectures et perspectives de recherches en éducation*, Lille, Presses Universitaires du Septentrion.

DRIVER R. & ERICKSON G. (1983), «Theories-in-action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science», *Studies in Science Education*, n°10, p.37-60.

DRIVER R. (1973), *The representation of conceptual frameworks in young adolescent scientific students*, Unpublished Ph.D. dissertation, Université of Illinois.

EQUIPE ASTER (1985), *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Paris, INRP.

FABRE M. & ORANGE C. (1997), « Construction des problèmes et franchissement d'obstacles », *ASTER*, n°24, p.37-57 (disponible sur <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8550>).

GAPAILLARD J. (1993), *Et pourtant elle tourne*, Paris, Seuil.

GIORDAN A. & DE VECCHI G. (1987), *Les origines du savoir*, Neuchâtel, Delachaux & Niestlé.

GIORDAN A. & MARTINAND J.-L. (1988), « Etat des recherches sur les conceptions des apprenants à propos de la biologie », *Annales de didactique des sciences*, Volume 2, n°2, p.13-68 (publications de l'université de Rouen).

GIORDAN A. (1999), *Une didactique pour les sciences expérimentales*, Paris, Belin.

¹¹ Une explication complémentaire est que la didactique des sciences française a plus développé, ces derniers temps, des études sur l'activité enseignante et les curriculums que sur l'activité des élèves.

GIORDAN A. (dir.) (1983), *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*, Berne, Peter Lang.

JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1989), *Représentations et modélisations : le "débat scientifique" dans la classe et l'apprentissage de la physique*, Berne, Peter Lang.

JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1993), *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, Presses Universitaires de France.

KUHN T.S. (1983), *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, (édition originale 1962).

LAKATOS I. (1994), *Histoire et méthodologie des sciences*, Paris, Presses Universitaires de France.

LAROCHELLE M. & DÉSAUTELS J. (1992), *Autour de l'idée de science, itinéraires cognitifs des étudiants*, Bruxelles, De Boeck.

LAUTREY J., RÉMI-GIRAUD S., SANDER E. & TIBERGHIE A. (2008), *Les connaissances naïves*, Paris, Armand Colin.

MARTINAND J.-L. (1986), *Connaître et transformer la matière*, Berne, Peter Lang.

MARTINAND J.-L. (1992), « Présentation », *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, Paris, INRP.

MARTINAND J.-L. (1994), « Quels enseignements peut-on tirer des travaux dans la perspective du développement de curriculum ? », *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation*, J.-L. Martinand & al., Paris, INRP, p.115-125.

MAZENS K., BERGER C. & PEYRIC E. (2009), « Naive conceptions about biological inheritance in 6- to 8-year-old children », *Biological understanding and theory of mind: core knowledge and naive conceptions in children and adults*, F. Labrell & S. Caillès (dir.), Paris, Publibook.

MIGNE J. (1969), « Les obstacles épistémologiques à la formation des concepts », *Education Permanente*, n°2 (republié en 1994 dans *Education permanente*, n°119, p.101-123).

MIGNE J. (1970), « Pédagogie et représentations », *Education permanente*, n°8 (republié en 1994 dans *Education permanente*, n°119, p.11-31).

MOSCOVICI S. (1961), *La psychanalyse, son image et son public*, Paris, Presses Universitaires de France.

MOSCOVICI S., ACKERMANN W. & BARBICHON G. (1962), *Diffusion des connaissances scientifiques et techniques*, Paris, CERP.

ORANGE C. (1994), « Les modèles, de la mise en relation au fonctionnement », *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation*, J.-L. Martinand & al., Paris, INRP, p.25-43.

ORANGE C. (1997), *Problèmes et modélisation en biologie; quels apprentissages pour le lycée?*, Paris, Presses Universitaires de France.

ORANGE C. (2000), *Idées et raisons, construction des problèmes, débats et apprentissages scientifiques en Sciences de la vie et de la Terre*, Mémoire présenté pour l'habilitation à diriger des recherches, non publié.

ORANGE C. (2002), « Apprentissages scientifiques et problématisation », *Les Sciences de l'éducation, pour l'ère nouvelle*, volume 35, n°1, p.25-42.

ORANGE C. (2003), « Investigations empiriques, constructions de problèmes et savoirs scientifiques », *La pratique expérimentale dans la classe*, C. Larcher & M. Gofard (coord.), Paris, INRP p.59-84.

ORANGE C. (2005), « Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques », *Les Sciences de l'éducation, Pour l'ère nouvelle*, volume 38, n°3, p.69-93.

ORANGE C. (2012), *Enseigner les sciences : problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*, Bruxelles, De Boeck.

ORANGE C. & ORANGE RAVACHOL D. (2004), « Les conceptions des élèves et leur mode de raisonnement en sciences de la Terre », *Géochronique*, n°90, p.29-32.

ORANGE C., LHOSTE Y. & ORANGE RAVACHOL D. (2008), « Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences », *Argumenter en classe de sciences*, C. Plantin & C. Buty (dir.), Lyon, INRP, p.75-116.

ORANGE RAVACHOL D. & ORANGE C. (2011), « Spécificités et difficultés de la construction de savoirs géologiques au collège », *Biologie-Géologie*, n°4, p.149-163.

PETERFALVI B. (1997), « Les obstacles et leur prise en compte didactique », *ASTER*, n°24. p.3-11.

PETERFALVI B. (2001), *Obstacles et situations didactiques en sciences : processus intellectuels et confrontations ; l'exemple des transformations de la matière*, Thèse de sciences de l'éducation, non publiée, Université de Rouen.

PIAGET J. & GARCIA R. (1983), *Psychogenèse et histoire des sciences*, Paris, Flammarion.

POPPER K. (1991), *La connaissance objective*, Paris, Aubier.

POSNER G.J., STRIKE K.A., HEWSON P.W. & GERTZOG W.A. (1982), « Accomodation of scientific conception: toward a theory of conceptual change», *Science Education*, volume 66, n°2, p.211-227.

POSNER G.J (1983), « A model of conceptual change: present status and prospect», *Proceeding of the international seminar "Misconceptions inscience and mathématique"*, H. Helm, J.D. Novak (dir.), Ithaca, NY, Cornell University.

REBOUL O. (1980), *Qu'est-ce qu'apprendre ?*, Paris, Presses Universitaires de France.

RIDAO C. (1993), « Le concept de représentation en didactique de la biologie, un concept central et opératoire dans une didactique du problème », *Les Sciences de l'éducation, pour l'ère nouvelle*, volume 4-5, p.103-130.

TIBERGHIE A. & DELACÔTE G. (1976), « Manipulations et représentations de circuits électriques par des enfants de 7 à 12 ans », *Revue Française de Pédagogie*, n°34, p.32-44.

TOULMIN St. E. (1973), *L'explication scientifique*, Paris, Armand Colin (édition originale, 1961).

VERGNAUD G. (dir.) (1978), « Didactique des sciences et psychologie », *Revue Française de Pédagogie*, n°45.

VERGNAUD G., HALBWACHS F. & ROUCHIER A. (1978), « Structure de la matière enseignée, histoire des sciences et développement conceptuel de l'élève » *Revue Française de Pédagogie*, n°45, p.7-15.