



Les représentations initiales des élèves et le processus de problématisation en classe de sciences

Thierry Evrard
Université catholique de Louvain –
Haute École Léonard de Vinci

Jim Plumat
Université catholique de Louvain –
Université de Namur

Résumé

Si l'enseignement des sciences reste complexe, voire difficile, pour les enseignants du fait de l'omniprésence des conceptions premières des élèves, véritables scories dans le processus pédagogique, l'apprentissage est également pénible pour les élèves pour qui les sciences ne font pas ou plus nécessairement sens. Il faut reconnaître que la plupart du temps, les élèves ne sont pas associés à certains processus de construction des sciences comme la modélisation ou la conceptualisation, pourtant essentiels pour assurer la compréhension. La démarche d'investigation, et plus particulièrement la problématisation pourrait dès lors constituer une alternative intéressante du fait qu'elle incite les élèves à participer d'emblée à la dimension épistémologique des sciences en développant chez eux des compétences transversales importantes comme l'argumentation. Si la problématisation en classe de sciences se révèle être une ingénierie méthodologique motivante pour les élèves, elle apparaît également exigeante pour l'enseignant.

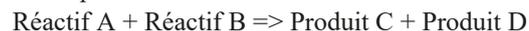
Mots-clés : Apprentissage des sciences, conceptions premières, problématisation

Introduction

Le savoir scientifique passe mal ! Telle est la conclusion à laquelle Kapferer et Dubois (1981) cités par Giordan et De Vecchi (1994) sont arrivés à la suite d'une enquête qui a mis en évidence que, dans les représentations des mouvements relatifs des planètes, plus de 50 % des adultes considèrent toujours que le Soleil tourne autour de la Terre, témoignant ainsi que le modèle héliocentrique ne s'est, semble-t-il, toujours pas imposé ! Les enquêtes PISA confirment cette faiblesse dans la maîtrise des contenus scientifiques au niveau des élèves de la FWB (OCDE, 2016).

Comment expliquer de tels résultats ? Y aurait-il quelque chose à changer dans l'enseignement des sciences ? Qu'en est-il des élèves dans le processus d'apprentissage ? Comment prendre en compte leur savoir initial ? Ce savoir interfère-t-il dans leur apprentissage ? Et *in fine*... que conviendrait-il de faire ?

À l'école, pour un même savoir, les points de vue de l'enseignant et des élèves peuvent se révéler bien différents ! Prenons un exemple pour illustrer les différents positionnements de l'enseignant et de l'élève, liés à l'écriture conventionnelle d'une réaction chimique classique :



Pour tout chimiste – et donc pour l'enseignant – le signe « + » à gauche de la flèche signifie que le réactif *A* est *ajouté* au réactif *B*, tandis qu'à droite de la flèche le signe « + » signifie que le produit *C* est *en présence* du produit *D*. L'élève perçoit-il la temporalité du sens attribué à la flèche et que le même signe « + » est porteur de deux significations différentes ? Nous sommes là face à un malentendu cognitif (Bautier & Goigoux, 2004).

Du côté de l'élève, le savoir se présente différemment que du côté de l'enseignant. Ce type de réflexion, à la suite du travail commencé par la didactique des mathématiques avec Guy Brousseau, a été à la base de l'émergence de la didactique des sciences expérimentales. Cette discipline – la didactique des sciences – vise à définir, à expliciter les conditions d'apprentissage des concepts scientifiques. De ces réflexions, trois courants de recherche ont rapidement émergé. Un premier, suite à l'impulsion de Chevillard (1985), étudie comment le savoir « savant » évolue pour devenir un savoir « à enseigner ». Les deux autres courants font référence aux conceptions premières des apprenants (Astolfi & Develay, 1989) et aux objectifs-obstacles (Martinand, 1986). Un nombre important de ces travaux sont publiés dans des revues¹ spécialisées en didactique des sciences et sont, en tout ou en partie, accessibles en ligne.

¹ Revue *Aster* qui est accessible à partir du lien suivant :

http://catalogue-editions.ens-lyon.fr/fr/revues/?collection_id=689

Revue *Didakalia* :

<http://catalogue-editions.ens-lyon.fr/fr/recherche/?searchtext=didaskalia&fa=recherche>

Revue *RDST* : http://catalogue-editions.ens-lyon.fr/fr/collections/?collection_id=692

Dans la suite de cet article, nous allons brièvement présenter le premier courant de recherche qui s'est installé ainsi que ses limites pour ensuite développer plus longuement le courant lié à la problématisation en l'illustrant à partir d'un cas concret qui sera discuté.

1. Les conceptions premières des apprenants

Les premiers travaux autour des représentations initiales des apprenants datent des années 1980. Ils avaient pour objet d'identifier ce que les étudiants connaissaient des savoirs que l'enseignant cherchait à leur faire apprendre, considérant que « *l'apprenant n'est nullement un sac vide que l'on peut remplir de connaissances, et encore moins un objet de cire conservant en mémoire les empreintes qu'on y a moulées* » (Giordan & De Vecchi, 1994, p. 66).

Ce concept de représentations initiales a évolué dans le champ de la didactique (conceptions initiales, préconceptions, « déjà-là » conceptuel, *misconceptions*...), mais, quel que soit le terme utilisé, il s'agit essentiellement de documenter les images mentales, les modèles explicatifs intuitifs du réel que chacun élabore tout au long de sa vie, en interaction incessante avec son environnement. Ces représentations se construisent sur la base d'un vécu quotidien et font appel en grande partie à la créativité des apprenants. Les conceptions premières sont présentes dans tous les domaines et plus particulièrement en sciences expérimentales. Dès lors, apprendre ne peut plus être considéré comme un apport de connaissances nouvelles qui viendraient se substituer à de plus anciennes, mais consiste à opérer une transformation de ces représentations initiales pour *in fine* produire un changement conceptuel. Des recherches ont pu montrer que l'enseignement ne se déploie pas sur une table rase, mais que l'élève dispose de modèles explicatifs du monde qui peuvent faire obstacle épistémologique à l'acquisition de nouvelles connaissances (Piaget, 1972). Astolfi, Peterfalvi et Vérin (1998) précisent que ces conceptions premières sont intensément cohérentes, raison pour laquelle elles résistent à l'apprentissage et se constituent en obstacles. L'identification de ces obstacles permet de mieux comprendre la résistance cognitive des élèves à l'apprentissage de concepts scientifiques.

Ces conceptions, loin d'être innombrables, peuvent être regroupées en grandes familles. Par exemple, pour l'appareil respiratoire, De Vecchi (1992) a identifié deux familles de représentations initiales présentes chez les apprenants, de l'école jusqu'à l'université : l'air ne fait qu'entrer et sortir des poumons et le cœur fait partie intégrante de l'appareil respiratoire.

Université

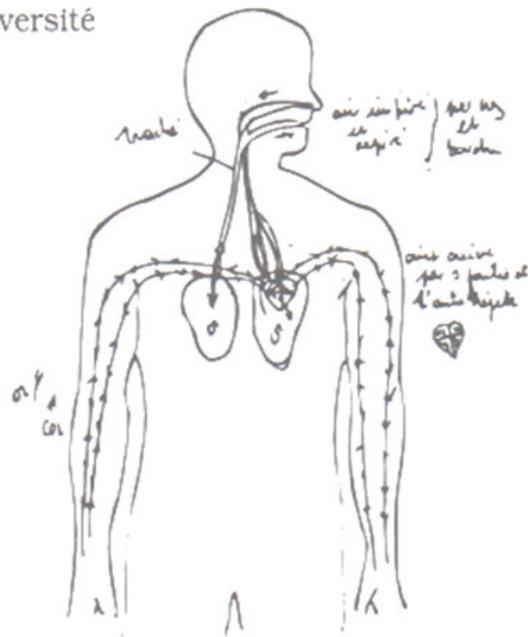


Figure 1. Même au début de l'université, les étudiants considèrent que le cœur fait partie de l'appareil respiratoire (De Vecchi, 1992, p. 102)

Ces conceptions premières se retrouvent à tout niveau de la scolarité. Par exemple, lorsqu'on propose à des lycéens de répondre à la consigne suivante (Orange-Ravachol & Beorchia, 2011 ; Orange-Ravachol, 2017) :

« Placez sur ce schéma ci-joint le tube digestif et les reins de façon à expliquer comment le sang approvisionne les organes (par exemple, le muscle) en nutriments et élimine ses déchets azotés (urine). Vous pouvez ajouter les vaisseaux sanguins et les organes qui vous semblent nécessaires ».

Une majorité des élèves produisent un schéma comme ci-dessous (à gauche), où les organes sont placés « en série », schéma qui s'écarte fortement de celui qui correspond au savoir établi, où les organes sont placés en parallèle (à droite).

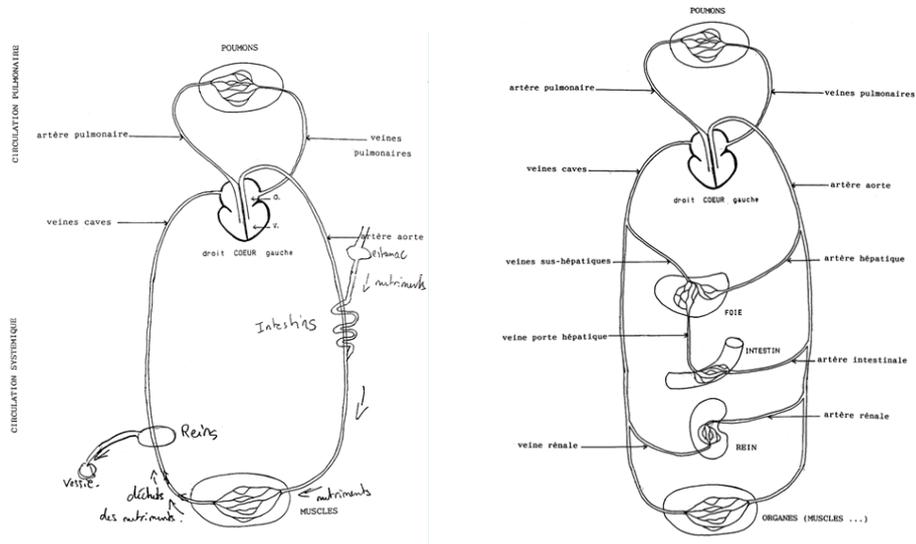


Figure 2. Pour la plupart des élèves interrogés, les organes sont placés en série (dessin de gauche) alors qu'ils devraient être placés en parallèle (dessin de droite) Orange et Beorchia (2011, p. 55)

Pour l'élève, il apparaît plus logique d'avoir un apport en nutriments en entrée des muscles et une sortie de déchets que de concevoir un modèle où, à tout moment et à tout endroit, le sang transporte à la fois des nutriments et des déchets. Nous insistons sur le fait que les représentations initiales sont logiques et que de vouloir les balayer – « faire contre » ou les « ignorer » – ne produit aucun changement conceptuel.

Dans son ouvrage intitulé *Notions de culture scientifique et technologique. Concepts de base, percées historiques et conceptions fréquentes*, Thouin (2001) présente une compilation de représentations initiales fréquentes dans de nombreuses disciplines scientifiques (biologie, chimie, physique, géologie...).

Après avoir mis en évidence la place cruciale de ces représentations initiales lors de l'apprentissage de concepts scientifique, il convient de voir comment les prendre en compte. Pour traiter des conceptions initiales, De Vecchi et Giordan (1994, p. 92) proposent de « Faire avec pour aller contre ». Cela implique de faire émerger ces conceptions premières, de s'appuyer sur elles en les confrontant et en les réfutant, pour parvenir à les transformer.

Astolfi et Peterfalvi (1993) proposent alors un scénario en trois étapes pour franchir les obstacles que véhiculent ces représentations initiales. Le premier niveau est celui du *repérage*. Cela demande de faire émerger les représentations initiales chez l'élève afin qu'il en prenne conscience. Le deuxième niveau, celui dit de la *fissuration*, correspond à une déstabilisation cognitive. La situation dans laquelle est plongé l'élève lui fait comprendre que ses représentations initiales ne sont pas opérationnelles

et doivent changer. Enfin, le troisième niveau, celui du *franchissement*, correspond à la construction d'un nouveau modèle explicatif, plus pertinent que l'ancien. L'apprentissage consiste alors de passer d'une conception initiale à une autre, plus proche du savoir scientifique (Orange, 2000).

Ce modèle d'apprentissage s'est fortement répandu durant les années 1990, mais a assez rapidement montré ses limites. Ainsi Peterfalvi et Vérin (1996) ont identifié plusieurs dérives de ce type de scénario pédagogique. Face à des situations problèmes qui viennent perturber les raisonnements intuitifs des élèves, ces derniers éprouvent de l'étonnement, de l'inconfort, voire de l'inquiétude. À terme, en multipliant ce genre de situations où l'élève se retrouve en difficulté, le risque est alors grand que s'installe un sentiment d'incompétence et que l'élève ne vienne à penser que les sciences sont trop compliquées et se mette à les rejeter.

À partir des années 2000, un groupe de didacticiens des Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) – Orange et Orange-Ravachol (2007) ; Orange-Ravachol et Orange (2012), Beorchia et Lhoste (2007 ; 2008) – commence à élaborer un cadre théorique qui ne considère plus l'apprentissage scientifique comme un travail sur les conceptions initiales, mais conçoit de faire passer les apprenants de leurs explications naïves vers des explications de plus en plus scientifiques de manière progressive et continue. Il ne s'agit plus de conduire l'apprenant d'une représentation initiale vers une autre plus correcte, mais bien de susciter son déplacement d'une opinion vers un savoir raisonné. Ce cadre théorique qui débouchera sur la méthodologie liée à l'investigation, et plus spécifiquement sur la *problématisation*, envisage également l'apprentissage des concepts scientifiques d'un point de point bachelardien (Lhoste, 2017).

Tableau 1. Les objectifs d'apprentissage du point de vue du travail sur les représentations et du point de vue de la problématisation (Orange, 2000, p. 14)

Point de vue du « Travail sur les représentations »	Point de vue de la « Construction du problème »
<i>Faire passer les élèves d'une représentation C1 à une représentation C2</i>	<i>Faire passer les élèves d'une opinion O à un savoir scientifique S</i>
C1 et C2 sont de même nature	O et S ne sont pas de même nature
C2 est plus proche des savoirs actuels que C1	S est un savoir raisonné

Le processus de problématisation a d'emblée été appliqué dans les cours de SVT et pour des élèves du primaire et du début du secondaire. Actuellement, en France, les programmes d'enseignement du primaire et du secondaire de mathématiques, de sciences et de technologie promeuvent l'engagement des élèves de l'école et du collège de démarches d'investigation contribuant à l'appropriation de compétences communes. Ce type de démarches est introduit à l'école primaire en 2002 (MEN,

2002) et en 2004 dans les programmes de collège (MEN, 2004) et il « apparaît comme un nouveau sésame pour l'enseignement des sciences, en privilégiant la construction de savoir par l'élève, sans faire référence à un modèle pédagogique ou une théorie de l'apprentissage » (Coquidé, Fortin & Rumelhard, 2009, p. 55). En Belgique francophone, à l'occasion des modifications des programmes du primaire et de la Communauté française en 2001, il était préconisé de recourir, dans l'enseignement scientifique, à une démarche par énigme, encourageant les enseignants à passer d'un enseignement traditionnel à une approche basée sur la construction du savoir par l'expérimentation (Delfosse, 1999). Pourtant, en classe de sciences, les démarches d'investigation et plus spécifiquement, la démarche de problématisation bien que recommandées sont peu usitées. Outre la méconnaissance de la démarche de problématisation, c'est souvent la surcharge des programmes et la dimension chronophage de ce type de méthodologie qui sont invoquées pour ne pas s'y engager.

2. La problématisation

La problématisation peut être vue comme une *façon de penser* les relations entre problème, solution et production de connaissances. De fait, comme le signale Bachelard (1934, p. 17), « pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question ». Cependant, ces relations peuvent aussi apparaître comme circulaires (Orange, 2005). De fait, si la résolution d'un problème génère de nouvelles connaissances qui permettent ensuite de résoudre d'autres problèmes, ces mêmes connaissances peuvent aussi se révéler insuffisantes ou incompatibles avec d'autres solutions et induire éventuellement des modifications de connaissances. Par exemple, l'étude du phénomène de réfraction de la lumière produit des connaissances qui ne peuvent expliquer les phénomènes de diffraction ou d'interférence. Cependant, comme le signale Orange, il importe de ne pas se limiter aux solutions proposées, car même si les solutions sont fausses ou approximatives, « les idées développées pour y arriver les [les élèves] engagent vers les savoirs scientifiques » (Orange, 2005, p. 72). C'est donc plus le processus mis en jeu que les résultats issus de celui-ci qui importe.

L'activité intellectuelle menée entre le problème perçu et la solution proposée met en jeu, chez l'apprenant, des connaissances, mais également ce que l'on appelle son *cadre épistémique* (Piaget & Garcia, 1983), c'est-à-dire non seulement ses connaissances scientifiquement établies, mais également l'ensemble de ses croyances, comme ses conceptions premières vraies et fausses. Martinand (2000) a fait évoluer le concept de *cadre épistémique* de Piaget et Garcia vers celui de *matrice*. Alors que le concept de *cadre* fait référence à un ensemble structuré de connaissances correspondant à une certaine logique, le concept de *matrice* évoque, quant à lui, des éléments épars non encore mis en relation. Lhoste et Perterfalvi (2009) ont associé ces deux concepts pour définir la *matrice épistémique* des élèves, c'est-à-dire l'ensemble non nécessairement organisé des connaissances et des conceptions premières à partir duquel les élèves construiront leurs apprentissages.

On parlera alors de *problème* à partir du moment où, dans l'explication d'un phénomène, la mobilisation des savoirs initiaux – issus du savoir savant ou de la matrice épistémique de l'élève – ne va pas de soi pour interpréter ou expliquer ce qui est observé (Lhoste & Perterfalvi, 2009). La construction intellectuelle entre le problème perçu et la solution apportée par les élèves est ce que l'on qualifie de *construction du problème* ou *problématisation* (Orange, 2005). Pour d'autres auteurs (Fabre & Musquer, 2009), problématiser consiste à développer un questionnement visant à identifier les données et les conditions du problème et à les mettre en tension. De cette interaction résultent des hypothèses de solutions qui seront ensuite validées ou non. Les données sont présentes dans la situation ou peuvent être rajoutées au fur et à mesure de l'apprentissage par les élèves ou les enseignants. Ces données ont alors un statut de contraintes (Fabre & Musquer, 2009).

Enfin, en sciences, contrairement à la vie courante, les problèmes sont vus positivement, comme des défis à relever, et d'ailleurs, pour Popper, la science commence par des problèmes (Popper, 1991 ; 1985). Dès lors, un savoir scientifique permet non seulement de résoudre des problèmes, mais également d'en formuler de nouveaux qui, à leur tour, vont faire progresser les savoirs. Cette relation dynamique entre problèmes et savoirs est une caractéristique essentielle de l'activité scientifique.

L'*apodicticité* des connaissances scientifiques – c'est-à-dire leur caractère nécessaire – mise en avant par Bachelard (1949) permet de comprendre le processus de conceptualisation qui se met en œuvre au sein de la problématisation. Comme le signale Reboul (1992), en sciences, savoir n'est pas simplement « savoir que », mais « savoir qu'il ne pourrait en être autrement ». La conceptualisation apparaît donc comme une nécessité et, comme le signale Orange (2005, p. 78), « celle-ci [la conceptualisation] ne se réduit pas à la construction de concepts catégoriels² ou bien de concepts en actes, mais à des constructions théoriques explicites dont la nécessité s'impose ». Un concept s'impose, par exemple, parce qu'il enrichit le caractère apodictique des savoirs et permet d'unifier des problèmes *a priori* différents ou simplifie la description ou l'explication de ce qui est observé. Dans ce sens, la problématisation est une mise en tension entre le registre empirique et le registre des modèles, modèles pour lesquels les concepts sont des éléments constitutifs. La plupart du temps, les concepts sont soit définis et introduits « tel quels », soit imposés *hic et nunc* dans une séquence de cours, voire parfois avant celle-ci, et leur dimension épistémologique n'est que rarement interrogée et discutée. La construction de ces nécessités se fait ici via une confrontation d'idées, par exemple lors d'un débat, afin de permettre aux apprenants de prendre conscience de ce qui est, ou non, possible et ce, via l'espace des contraintes. *L'espace des contraintes* correspond à ce qui est travaillé dans cette exploration du possible. Cette mise en tension entre le registre empirique

2 Pour la distinction entre concepts catégoriels et concepts scientifiques voir Lemeignan et Weil-Barais (1993).

– le monde des données – et le registre des modèles – le monde des constructions explicatives – conduit à dégager des raisons – des nécessités – qui contraignent les modèles explicatifs en leur conférant un caractère apodictique (Orange-Ravachol, 2005).

L'analyse des raisonnements intégrant les contraintes et les nécessités permettrait, à terme, de comprendre comment différents types d'obstacles interviennent dans le processus de problématisation. Par exemple, en physique, le problème de comprendre la réfraction du son (due à la différence de température de l'air ou à la nature des gaz mis en présence, par exemple) lié à l'étude de la propagation du son dans un fluide, fait intervenir dans le registre empirique, différentes données (caractéristiques du milieu de propagation, vitesse du son, réflexion, réfraction, etc.), mais également la matrice épistémique de l'élève, et nécessitera la co-construction de modèles de plus en plus élaborés pour arriver à prendre en compte l'air comme un milieu élastique et à le modéliser (par exemple par un ressort) en introduisant les concepts de vitesse de propagation d'une déformation, de longueur d'onde, de fréquence et de l'influence du milieu de propagation (densité du fluide) sur la célérité.

Enfin, il importe de souligner que le processus de problématisation n'est pas linéaire et que ce processus est « inextricablement lié à la verbalisation » (Orange, 2005, p. 81), à un travail langagier où l'argumentation prend une place indispensable. Dans le processus de problématisation, il y a bien co-construction du problème par l'enseignant et les élèves.

Dès lors, notre questionnement vise à répondre aux questions de recherche suivante : la démarche de problématisation est-elle si gourmande en temps et en énergie ? Quelles sont ses forces et faiblesses en situation de classe ?

Pour mieux appréhender cette méthodologie, nous l'exemplifierons pour la poussée d'Archimède, en particulier en montrant comment le concept de masse volumique s'introduit naturellement et permet la construction d'un premier modèle explicatif illustrant la flottabilité.

3. Les inducteurs de problématisation et la matrice épistémique

Certains auteurs (Fabre & Musquer, 2009) se sont également posé la question de savoir comment aider l'élève à problématiser ; autrement dit, ils se sont demandé « quelles sont les aides spécifiques, susceptibles d'activer les schèmes de l'élève et ceci par rapport aux différentes opérations du processus de problématisation et de leur contenu » (Fabre & Musquer, 2009, p. 112).

Par leurs réflexions, il apparaît que l'inducteur de problématisation ne peut fonctionner que par l'opération conjointe du maître et de l'élève. Le maître doit orienter la recherche alors que les inducteurs sont les *moyens* de cette orientation. Les inducteurs se situent donc « à mi-chemin entre la structure des connaissances à

acquérir et celle des représentations déjà présentes chez le sujet » (Fabre & Musquer 2009, p. 122). Comme relevé par Bruner (1983), les interactions de tutelle et les fonctions d'étayage sont extrêmement importantes et constituent, lorsqu'elles sont activées par les enseignants, des inducteurs qui initient les schèmes de problématisation chez les élèves. Il importe cependant de distinguer l'élément inducteur issu du milieu pédagogique (les interactions maître-élèves) ou de la didactique (l'énoncé du problème) de ce qu'il induit chez l'apprenant : les schèmes et plus particulièrement, les schèmes anticipateurs. Cette composante épistémique du sujet constitue, selon Vergnaud (2001), un argument essentiel pour introduire le concept de schème.

Pour Fabre et Musquer (2009, p. 120), « le travail de problématisation peut donc s'interpréter comme un travail sur des schèmes déjà là, mais oblige en même temps à une différenciation ou une modification des schèmes, voire à la construction des schèmes nouveaux ».

4. Les difficultés pour les élèves de problématiser

La comparaison entre les activités de problématisation chez les chercheurs et chez les élèves permet d'identifier et d'expliquer les difficultés de ces derniers (Orange-Ravachol, 2005). La problématisation chez les élèves se différencie de celle des chercheurs, tant au niveau des espaces de contraintes qu'au niveau des solutions proposées. Comme le signale l'auteure, le registre empirique des élèves est – naturellement – moins dense que celui des scientifiques et induit plus souvent une problématisation du *sens commun* et ce, du fait de la convocation de la matrice épistémique des élèves. Spontanément, les élèves usent d'une forme d'explication qui est « la mise en histoire » afin de s'accommoder d'un registre empirique fragmentaire (Orange-Ravachol, 2005).

La problématisation pour l'enseignement des sciences génère donc chez les apprenants, à partir d'une problématique donnée, une mise en tension du registre empirique avec celui des modèles. Avec la prise en compte de l'espace des contraintes et des débats entre élèves et l'enseignant, ce processus permet d'une part, la prise en compte de la matrice épistémique des élèves pour *in fine*, aboutir à la coconstruction d'un modèle explicatif, et d'autre part, l'introduction apodictique de concepts. Ces derniers sont non seulement alors vus comme des éléments constitutifs du modèle élaboré, mais surtout comme des éléments indispensables à la compréhension. En sciences, la problématisation permet alors de donner au concept un statut particulier et, sans l'élaboration de ce dernier, le registre empirique risque de ne pas faire sens et le modèle explicatif se voit plus imposé que construit.

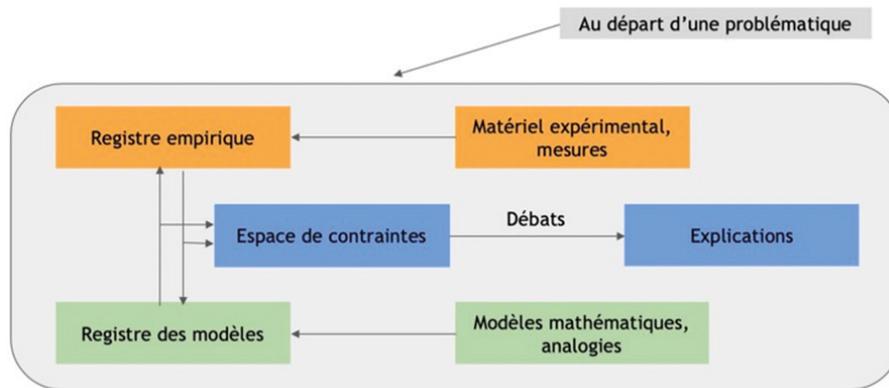


Figure 3. La problématisation peut être décrite comme la mise en tension critique entre les éléments du registre empirique et les éléments du registre des modèles (schéma des auteurs)

5. Un exemple de problématisation en sciences physiques visant l'apprentissage de la poussée d'Archimède

L'enseignement-apprentissage de la poussée d'Archimède reste un défi, tant pour les enseignants que pour les élèves. Les conceptions premières en lien avec le principe d'Archimède sont nombreuses et résistantes au changement conceptuel (Thouin, 1985 ; Verhaeghe, Wolfs, Simon & Compère, 2004 ; Besson, 2001). Pour beaucoup d'élèves, voire pour des étudiants, un objet flotte parce qu'il est « plus léger que l'eau ». C'est souvent la densité de l'objet qui est mise en avant pour interpréter sa flottaison. La forme des objets est également convoquée, un objet plat sera d'emblée vu comme plus « facile » à faire flotter qu'un objet compact. De plus, le principe d'Archimède qui fait référence au volume du fluide « déplacé », reste très souvent difficile à comprendre pour les élèves du fait qu'il n'évoque pas directement la cause du phénomène, à savoir la pression hydrostatique. Enfin, le nombre de concepts à mobiliser simultanément pour interpréter le phénomène (la masse volumique du fluide, le poids de l'objet, le volume immergé ou déplacé) constitue certainement une des causes de la non-maitrise du principe. Dontaine et Plumat (2015) indiquent que les étudiants en première année à l'université éprouvent encore bien des difficultés à décoder une expérience impliquant la poussée d'Archimède, et ce, même après avoir suivi le cours relatif à ce principe.

Il existe plusieurs approches du phénomène de flottaison à travers les manuels scolaires. Pour la majorité d'entre eux³, c'est la « poussée d'Archimède » qui est étudiée en évoquant les paramètres qui l'influencent, à savoir la masse volumique du liquide et le volume immergé, et d'une manière paradoxale, on n'évoque pas souvent la cause réelle du phénomène, à savoir les forces de poussée hydrostatique.

Le public avec lequel nous avons testé cette démarche de problématisation est celui d'élèves de troisième année (14-15 ans) de l'enseignement général de transition dans la région namuroise (Belgique) et elle a été mise en œuvre par des enseignants novices, dans le cadre de la formation liée à l'agrégation en sciences physiques. Ces enseignants novices ont réfléchi collégialement et proposé cette démarche lors de leur stage d'enseignement. Ce qui suit – réflexions et données – fait référence à l'expérience menée dans deux classes de troisième de l'enseignement secondaire général de transition.

La question-problème fait référence à une expérience liée à la cuisson des pommes de terre et plus particulièrement à la cuisson des frites dans de l'huile bouillante. De fait, on peut remarquer que, lorsque les frites crues sont placées dans de l'huile chaude (à environ 175 °C), celles-ci coulent instantanément au fond du panier. Progressivement, au cours du temps, les frites remontent à la surface, indiquant ainsi que la cuisson est optimale. Une capsule vidéo présentant l'évolution de la flottabilité des frites a été projetée en classe.

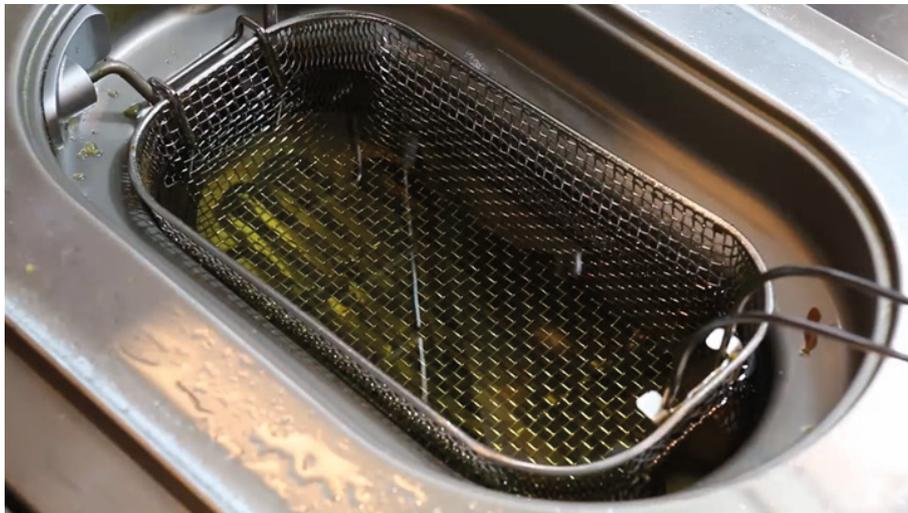


Figure 4. Une capsule vidéo présentée aux élèves montre comment les frites crues coulent d'emblée dans l'huile chaude pour, après quelques minutes de cuisson, flotter à la surface

³ Voir par exemple Physique 3 - Sciences de base et Sciences générales : Édition De Boeck & Van In (2021).

Lorsque la capsule vidéo est présentée aux élèves et que la question de recherche est énoncée, d'emblée les élèves signalent que ce sont la forme des frites et l'huile de cuisson qui sont responsables de la flottaison des frites. On retrouve ici l'idée que la forme des objets influence la flottaison (« *les frites plates flottent mieux que les grosses* ») et que la densité de l'huile (« *l'huile est plus légère que l'eau* ») sont des éléments incontournables dans l'explication du phénomène. Les élèves évoquent l'idée que le morceau de pomme de terre s'imbibe progressivement d'huile et donc, après un certain temps, celui-ci flotte comme « *l'huile à la surface de l'eau* ». Les remous occasionnés lors de l'introduction des frites crues dans l'huile bouillante sont également évoqués, mais d'une manière plus marginale.

De plus en plus souvent, la cuisson des pommes de terre frites à l'huile a actuellement tendance à être remplacée par une cuisson au four. Cette dernière s'avère moins grasse (et donc moins calorique et plus digeste), mais aussi plus sécurisante et certainement mieux connue des élèves. Pour ces raisons, l'expérience qui sera effectivement menée en classe sera liée à la cuisson des frites dans un four. Celui-ci est un four électrique pour lequel la température a été fixée à 100 °C. Si la cuisson dans le four allonge (nettement) le temps d'expérimentation en classe, elle permet en revanche aux élèves d'effectuer leurs mesures en toute sécurité et d'éliminer les solutions *a priori* énoncées comme « évidentes » par les élèves, comme la présence d'huile dans les morceaux de pomme de terre du fait de la cuisson. À ce stade, il importe donc d'établir avec les élèves la correspondance entre l'expérience initiale présentée dans la capsule vidéo (cuisson dans l'huile) et l'expérience réalisée en classe (au four). On fait correspondre à chaque élément de l'expérience initiale (huile, type de cuisson...), les éléments présents en classe (eau, cuisson au four...). L'établissement de cet *homomorphisme* entre la réalité du quotidien et la réalité scolaire constitue une étape indispensable pour crédibiliser l'expérience menée avec les élèves.

On présente dès lors aux élèves deux frites, initialement identiques, l'une crue et l'autre cuite au four. Les deux frites présentent des caractéristiques bien différentes. Comme le disent les élèves, « *la frite cuite est toute sèche et son poids plus faible* ». On plonge, par la suite, ces deux frites dans deux récipients différents, l'un contenant de l'huile de friture (froide) et l'autre de l'eau (froide également). Les élèves constatent *de visu* que la frite crue coule dans les deux liquides, mais que la frite cuite flotte dans l'huile et dans l'eau (voir figure suivante où les flèches indiquent les frites).



Figure 5. La frite crue coule dans l'huile et dans l'eau (photographie de gauche).
La frite cuite flotte dans l'huile et dans l'eau (photographie de droite)

Cette première expérience réalisée en classe désarçonne les élèves et met à mal leur premier modèle explicatif présentant l'huile et la forme des pommes de terre (« plate » versus « grosse ») comme des éléments explicatifs à la flottaison. De fait, bien que les frites (ici « grosses ») n'aient pas été en contact avec de l'huile (qualifiée de « plus légère »), les élèves peuvent observer la flottaison, et ce dans deux liquides différents !

Suite à ces premières observations en classe, la question de recherche évolue quelque peu, mettant en avant l'importance de la cuisson sur le phénomène observé. La nouvelle question de recherche s'énonce alors comme suit : « Pourquoi des frites cuites (de différentes façons) ont-elles tendance à flotter (sur de l'huile ou de l'eau) ? Cette question est complétée par une autre qui guidera la démarche empirique : « À quel moment de la cuisson les frites se mettent-elles à flotter ? ».

Ces nouvelles questions de recherche font à nouveau émerger des hypothèses où, cette fois, la masse et le volume des frites interviennent directement dans les hypothèses. De fait, les élèves écartent d'emblée l'influence de l'huile – ici absente – et intègrent le fait que la frite cuite a subi une transformation importante, plus particulièrement au niveau de son volume et de sa masse.

Les élèves proposent dès lors de mesurer avec l'enseignant l'évolution du volume et de la masse de morceaux de pommes de terre identiques durant la cuisson. Il est facile de couper les pommes de terre en forme géométrique donnée (ici des parallélépipèdes rectangles) afin de pouvoir mesurer, à intervalles réguliers de la cuisson, le volume et la masse des frites. Afin de minimiser les incertitudes de mesures, on prend un lot de plusieurs frites toutes identiques pour déterminer, en les serrant les unes

contre les autres, le volume moyen d'une frite. On procède de la même façon pour la détermination de la masse moyenne.



Figure 6. Les frites qui ont servi pour les expériences tout au long de la leçon

Au cours de la séquence de cours, le registre empirique se constitue ainsi progressivement par les résultats des mesures mettant en évidence l'évolution du volume et de la masse des frites au cours du temps de cuisson. L'ensemble des résultats de mesure de l'évolution de la masse moyenne et du volume moyen d'une frite au cours du temps de cuisson peut être présenté dans un graphique tel que celui présenté à la figure 7 ci-dessous.

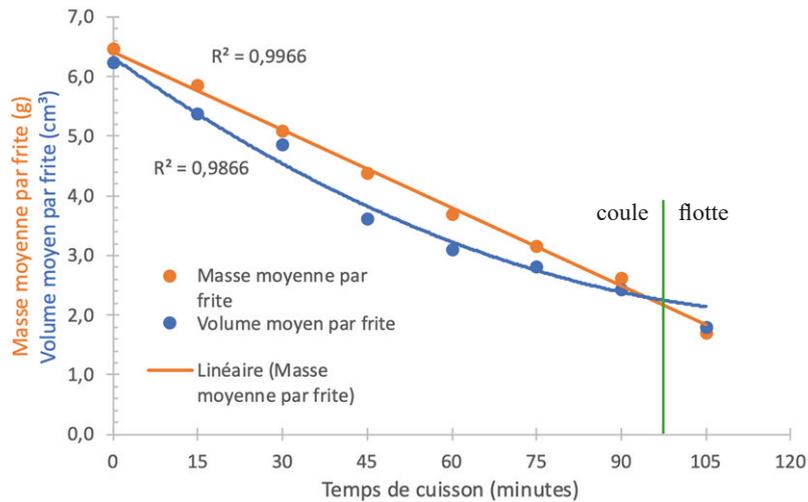


Figure 7. Évolution de la masse et du volume moyen d'une frite au cours du temps de cuisson.

Toutes les 15 minutes, les élèves mesurent la masse et le volume et testent la flottabilité d'une frite dans de l'eau. Dans un premier temps, on n'utilise que l'eau pour tester la flottabilité. L'huile sera utilisée ultérieurement pour tester l'hypothèse liée à la nature du liquide. Les frites coulent dans l'eau jusqu'au temps de cuisson t ($t = 100$ minutes), moment à partir duquel elles se mettent à flotter ! Sur la figure 7 ci-dessus, on peut observer une diminution régulière de la masse et du volume des morceaux de pomme de terre lors de la cuisson au four.

À nouveau, pour les élèves, ce changement de comportement interpelle. De fait, bien que les deux paramètres évoluent d'une manière « quasiment semblable » aux yeux des élèves, c'est bien parce que le volume diminue moins vite que la masse que l'on peut observer, à un moment donné, la flottabilité. À ce stade, il est nécessaire de conceptualiser pour permettre aux élèves de comprendre ce qui se passe.

C'est donc à ce moment que l'enseignant doit construire avec les élèves un concept explicatif nouveau et en montrer le caractère apodictique. L'idée est de montrer que, sans ce concept, il est impossible pour les élèves de construire un modèle explicatif du phénomène observé. C'est le moment de souligner que le travail langagier, où la verbalisation et plus spécifiquement l'argumentation prennent une place indispensable, et se trouvent être intrinsèques au processus de problématisation (Orange, 2005). Dans le processus de problématisation, il y a bien co-construction du problème par l'enseignant et les élèves.

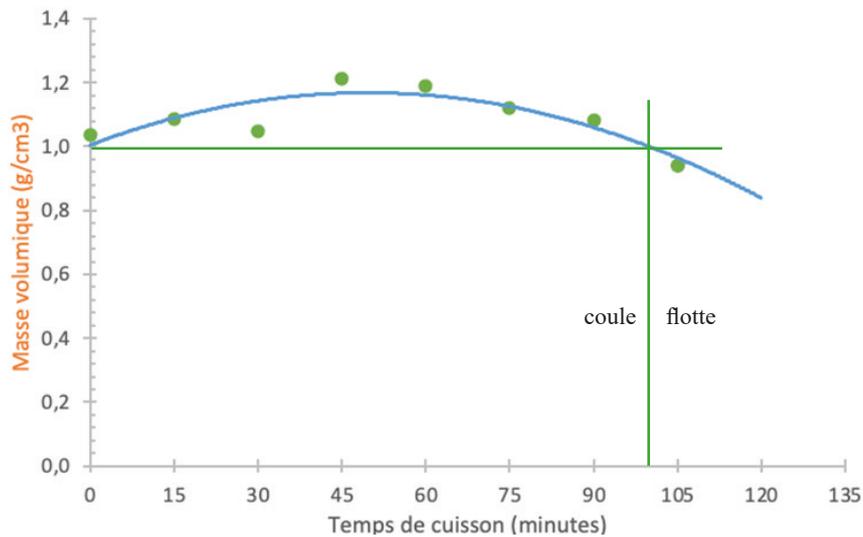


Figure 8. Évolution de la masse volumique d'une frite au cours du temps. Comme on peut le voir, la masse volumique d'une frite de pomme de terre passe par un maximum pour ensuite diminuer

Parmi toutes les possibilités explorées par les élèves, c'est le quotient de la masse par le volume d'une frite qui va se révéler intéressant. D'une part, on observe que ce quotient – baptisé par la suite masse volumique – n'est pas constant tout au long de cuisson, mais passe par un maximum (après un temps de cuisson d'environ 50 minutes) pour ensuite décroître (voir figure 8 ci-dessus). Pour des raisons de facilité, la masse volumique est exprimée ici en grammes par centimètre cube (g/cm^3). Il sera toujours temps de changer ces unités par la suite, lorsque le concept sera stabilisé, c'est-à-dire lorsqu'il aura montré son caractère nécessaire et son efficacité.

En confrontant les deux graphiques (figures 7 et 8), on peut observer qu'au temps t (qui est d'environ 100 minutes), la masse volumique des frites va passer en dessous de l'unité (voir ligne verticale sur la figure 8). Pourquoi cette valeur ? Est-elle liée au liquide, qui est ici de l'eau ? Pour le savoir, on peut tester la flottabilité des frites avec un autre liquide (ici de l'huile). Les élèves peuvent alors s'apercevoir qu'il est nécessaire d'avoir une frite « plus cuite » pour que celle-ci flotte à nouveau. Ce qui revient à dire que la ligne verticale déterminant la flottabilité va se déplacer vers la droite. De cette manière, les élèves peuvent établir un lien entre la masse volumique des objets (ici, les frites) et le liquide dans lequel ils sont placés (ici l'eau ou l'huile). Les masses volumiques de l'eau et de l'huile peuvent ainsi être mises en lien avec la flottabilité.

La cuisson des morceaux de pomme de terre modifie donc leur masse et leur volume de telle manière que la masse volumique augmente, passe par un maximum pour ensuite diminuer. Lorsque la masse volumique des frites (ou d'un objet) est égale ou inférieure à celle du liquide dans lequel elles sont placées, les frites flottent. Les masses volumiques de l'objet et d'un liquide peuvent être mises en lien avec la flottabilité pour arriver à formuler cet invariant conceptuel :

Un objet de masse volumique donnée ρ_o flotte sur un liquide de masse volumique ρ_l si sa masse volumique de l'objet ρ_o est égale – ou inférieure – à la masse volumique ρ_l du liquide.

Cette démarche permet de mettre en évidence un premier modèle explicatif de la flottabilité mobilisant les caractéristiques de l'objet et d'un liquide : c'est la comparaison entre ces masses volumiques qui permettra de déterminer si l'objet peut (ou non) flotter. Par la suite, l'enseignant peut, pour consolider l'apprentissage et faire fonctionner le modèle, présenter toute une série d'objets en demandant par avance si ceux-ci peuvent ou non flotter. Il est intéressant de montrer aux élèves que l'intuition qu'ils peuvent d'emblée convoquer par rapport à une situation donnée peut se révéler fautive alors que, dans tous les cas, le modèle explicatif construit pourra faire des prévisions fiables.

Et l'expression de la poussée d'Archimède ? Et l'influence du volume de liquide déplacé par l'objet ? Comme on le voit, cette première élaboration d'un modèle explicatif ne fait pas d'emblée intervenir ces éléments. Si les élèves ont pu percevoir

la démarche de construction du savoir et se rendre compte de la nécessité d'introduire le concept de masse volumique, nous avons également dû nous résoudre à l'évidence de la dimension chronophage de la problématisation. Pourtant, il semble toujours possible de mettre en place par la suite une seconde problématisation pour élaborer un modèle explicatif plus complexe, à l'issue duquel le volume immergé pourrait être convoqué et la relation de la poussée d'Archimède élaborée.

Enfin, d'autres questions restent ouvertes et pourraient être traitées avec les élèves, certaines étant plus interdisciplinaires. Par exemple, on peut s'interroger avec les élèves sur les raisons pour lesquelles la masse et le volume des frites diminuent lors de la cuisson. Ce serait alors l'occasion de parler de l'évaporation de l'eau, mais également des modifications chimiques de l'amidon contenu dans les pommes de terre⁴.

Conclusion

Dans cet article, nous avons voulu montrer le cheminement parcouru par la didactique des sciences, depuis les premiers travaux sur les représentations initiales jusqu'au courant contemporain lié à la problématisation et à la modélisation. Nous insistons sur l'importance de proposer aux élèves des problématiques scientifiques issues de la réalité et de construire avec eux les connaissances afin d'éviter de tomber dans une dérive empiriste qui ferait apparaître la science comme une *révélation* (Lhoste, 2017).

D'une part, la démarche dite de *problématisation*, en réunifiant le questionnement scientifique et les savoirs scientifiques, permet, à nos yeux, de répondre à la question de la perte du sens des savoirs scientifiques véhiculés par l'enseignement. Si cette démarche, comme nous l'avons montré par un exemple, permet effectivement d'interroger et de remettre en question les conceptions premières des élèves, elle s'avère surtout intéressante pour l'introduction des concepts qui participeront à la construction de modèles explicatifs, lesquels, on l'aura compris, doivent nécessairement évoluer en se complexifiant.

D'autre part, comme nous l'avons observé en classe, la démarche de problématisation ne permet pas d'établir d'emblée toute la théorie, et ce du fait de la co-construction du savoir qui se révèle d'emblée chronophage. La construction du savoir doit dès lors s'imaginer élément par élément, concept après concept et donc nécessairement plus lentement. Sans remettre en cause l'usage de cette démarche au sein de l'enseignement, il conviendrait également d'être conscient de l'ampleur du travail de préparation que l'enseignant devra consentir lors de ses préparations de cours. De fait, comme on a pu l'observer ici, cette démarche requiert de la part de l'enseignant, outre une bonne

⁴ Ces observations s'expliquent par l'évaporation progressive de l'eau contenue dans les frites (réduction de la masse) mais aussi par la rupture des chaînes d'amidon du fait de la cuisson (réduction du volume), c'est la gélatinisation de l'amidon.

connaissance de la matrice épistémique initiale des élèves, un travail de préparation substantiel tant pour la démarche expérimentale que pour la structure du cours durant laquelle plusieurs démarches de problématisation peuvent se succéder.

Enfin, le processus de *problématisation* demande une bonne dose de créativité pour concevoir des situations problématiques qui fassent sens pour les élèves. Les étudiants en agrégation qui ont mené ce type de travail ont tous signalé qu'ils avaient autant appris que leurs élèves. Reste à se poser la question de l'appropriation du savoir par les élèves, de leur compréhension et d'éventuels transferts de la démarche de co-construction vers d'autres domaines d'enseignement.

Bibliographie

- Astolfi, J.-P. & Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : PUF.
- Astolfi, J.-P. & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16, 221. Doi : <https://doi.org/10.4267/2042/8578>
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. & Vérin, A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences*. Paris : Retz.
- Bachelard, G. (1934). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin, 1986 (1^{re} édition).
- Bachelard, G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- Bautier, E. & Goigoux, R. (2004). Difficultés d'apprentissage, processus de secondarisation et pratiques enseignantes : Une hypothèse relationnelle. *Revue française de pédagogie*, 148(1), 89-100.
- Beorchia, F. & Lhoste, Y. (2007). La procréation : quelles problématisations du CP au collège ? *Recherche en Éducation*, 3, 29-50. Disponible sur Internet : <http://www.cren-nantes.net/spip.php?article60>
- Beorchia, F. & Lhoste, Y. (2008). Conditions de la problématisation en SVT. Étude de cas sur le mouvement du bras dans le premier degré. *5^e colloque du réseau PROBLEMA*. 12 et 13 juin 2008, Rhodes.
- Besson, U. (2001). *Une approche mésoscopique pour l'enseignement de la statique des fluides. Étude des raisonnements des apprenants, élaboration et expérimentation d'une séquence d'enseignement*. Thèse de l'Université Denis Diderot - Paris.
- Bruner, J.-S. (1983). Le rôle de l'interaction de tutelle dans la résolution de problème. In J. S. Bruner, *Le développement de l'enfant : Savoir-faire savoir dire* (pp. 261-280). Paris : PUF.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Paris : PUF.

- Coquidé, M., Fortin, C. & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : fondements et démarches, intérêts et limites, *Aster*, 49, 51-78. Doi : 10.4267/2042/31129
- De Vecchi, G. (1992). *Aider les élèves à apprendre*. Paris : Hachette.
- De Vecchi, G. & Giordan, A. (1994). *L'enseignement scientifique. Comment faire pour que « ça marche » ?* Nice : Z'éditions.
- Delfosse, P. (1999). *Une démarche pour l'apprentissage des sciences*. Ministère de la Communauté française de Belgique.
- Dontaine, M. & Plumet, J. (2015). Utilisation de séquences vidéo pour la mise en évidence du raisonnement causal en physique. *Éducation & didactique*, e-9, 95-105.
- Fabre, M. & Musquer, A., (2009). Les inducteurs de problématisation. *Les Sciences de l'éducation pour l'Ère nouvelle*, 42, 111-129. Doi : <https://doi.org/10.3917/lsdle.423.0111>
- Giordan, A. & De Vecchi, G. (1994). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. (2^e éd.). Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.
- Kapferer, J.-N. & Dubois, B. (1981). *Échec à la science*. Paris : NER.
- Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts en physique : l'enseignement de la mécanique*. Paris : Hachette.
- Lhoste, Y. (2017). *Épistémologie et didactique des SVT : Langage, apprentissage, enseignement des sciences de la vie et de la Terre*. Coll. Études sur l'Éducation. Pessac : Presses universitaires de Bordeaux.
- Lhoste, Y. & Perterfalvi, B. (2009). Problématisation et perspective curriculaire en SVT : l'exemple du concept de nutrition, *Aster*, Institut national de recherche pédagogique, Hal – 02466841.
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- Martinand, J.-L. (2000). Rapport au savoir et modélisation en sciences. In A. Chabchoub (dir.). *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences* (pp. 123-135). *Actes du cinquième colloque international de didactique et d'épistémologie des sciences*, tome I. Tunis.
- MEN (2002). Documents d'accompagnement des programmes de mathématiques de l'école primaire.
- MEN (2004). Programmes des collèges, Sciences de la vie et de la Terre. BOEN, Hors-série n° 5, 9 septembre 2004.

- OCDE (2016). *Cadre d'évaluation et d'analyse de l'enquête PISA 2015 : Compétences en sciences, en compréhension de l'écrit, en mathématiques et en matières financières*. PISA, Paris : Éditions OCDE.
- Orange, C. (2000). *Idées et raisons. Construction de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en sciences de la vie et de la Terre*. Nantes : Université de Nantes.
- Orange, C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'éducation. Pour l'Ère nouvelle*, 38, 69-94. Doi : <https://doi.org/10.3917/lse.383.0069>
- Orange, C. & Orange-Ravachol, D. (2007). Problématisation et mise en texte des savoirs scolaires : Le cas d'une séquence sur les mouvements corporels au cycle 3 de l'école élémentaire. *Actes des cinquièmes journées scientifiques de l'ARDiST*, La Grande Motte, 305-312.
- Orange-Ravachol, D. (2005). Problématisation fonctionnaliste et problématisation historique en sciences de la terre chez les chercheurs et chez les lycéens. *Aster*, 40, 225.
- Orange-Ravachol, D. (2017). Récits des élèves et récits des scientifiques dans les sciences de la nature, *Cahiers de Narratologie*, 32. Doi : <https://doi.org/10.4000/narratologie.7838>
- Orange-Ravachol, D. & Beorchia, F. (2011). Principes structurants et construction de savoirs en sciences de la vie et de la Terre. *Éducation & didactique*, 5, 7-28. Doi : <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1016>
- Orange-Ravachol, D. & Orange, C. (2012). Étude comparative des contenus et des apprentissages en biologie et en géologie : entre phénomènes et événements, *Recherches en didactiques*, 13, 55-66. Doi : <https://doi.org/10.3917/rdid.013.0055>
- Peterfalvi, B. & Vérin, A. (1996). Risques, dérives, faisabilités du travail d'obstacles en didactique. *Tréma*, 9-10, 123-136. Doi : <https://doi.org/10.4000/trema.2066>
- Piaget, J. (1972). *La représentation du monde chez l'enfant*. 4^e éd. Paris : PUF.
- Piaget, J., & Garcia R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion.
- Popper, K. (1985). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot (1^{re} édition).
- Popper, K. (1991). *La connaissance objective*. Paris : Aubier (1^{re} édition 1972).
- Reboul, O. (1992). *Les valeurs de l'éducation*. Paris : PUF.

- Thouin, M. (1985). Les représentations de concepts en sciences physiques chez les Jeunes. *Revue des sciences de l'éducation*, 11(2), 247-258. Doi : <https://doi.org/10.7202/900493ar>
- Thouin, M. (2001). *Notions de culture scientifique et technologique : Concepts de base, percées historiques et conceptions fréquentes*. Montréal : Multimondes.
- Vergnaud G. (2001). Piaget visité par la didactique, *Intellectica. Revue de l'Association pour la recherche cognitive*, 33, 107-123. Doi : <https://doi.org/10.3406/intel.2001.1635>
- Verhaeghe, J.-C., Wolfs, J.-L., Simon, X. & Compère, D. (2004). Conceptions des élèves en matière de sciences et de savoir. In *Pratiquer l'épistémologie. Un manuel d'initiation pour les maîtres et formateurs* (pp. 87-98). Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur.