

Les opinions vulnérables, tremplin vers le savoir

Recherches en didactique des sciences et des technologies n°1, 2010, p. 67-92.

> **Jean-Yves Cariou**

Université Paris-Sorbonne-Paris 4, école interne IUFM de Paris ;
Université de Genève, Laboratoire de Didactique et d'Épistémologie des Sciences

RÉSUMÉ - Le jeu entre opinion et savoir et le moyen d'établir une connaissance objective sont au cœur des débats depuis l'Antiquité, et ont suscité, dans l'histoire des sciences, divers discours de la méthode. Ces thèmes ont également leur résonance dans l'enseignement des sciences, et sont au cœur des travaux que nous avons menés sur la formation de l'esprit scientifique¹ qui, ne se limitant pas aux sciences, montrent par exemple que de nombreux élèves proposent de s'en remettre aux *sondages* ou aux *opinions* de proches sur des problèmes qui pourraient être tranchés par l'*expérience*, ou encore n'hésitent pas à affirmer leurs *certitudes* sans pour autant *savoir*. Selon le philosophe Karl Popper et le neurophysiologiste et prix Nobel John Eccles, la nature appartient au *monde 1*, les opinions subjectives au *monde 2* et la connaissance objective au *monde 3*. C'est, pour Karl Popper, comme le résume Jacques Monod, une sélection darwinienne qui opère sur la diversité des idées, description évolutionniste de la recherche scientifique que l'enseignant peut adapter en classe, s'il souhaite là aussi emprunter une voie qui conduise du *monde 2* au *monde 3* : des *opinions* au *savoir*. Les travaux effectués avec une équipe d'enseignants de SVT engagent les élèves dans une telle voie, qui fragilise les opinions : le crédit qui est accordé à celles qui toujours surgissent, les siennes comme celles d'autrui, peut alors être interrogé.

MOTS-CLÉS – esprit scientifique, hypothèses, initiative, créativité, contrôle.

« Il faut que tu apprennes toutes choses, et le cœur fidèle de la vérité qui s'impose, et les opinions humaines qui sont en dehors de la vraie certitude » (Parménide).

Les opinions humaines sont, depuis les premiers textes philosophiques dont nous disposons, l'objet de débats, de sentences, d'analyses de leur place et de leur rôle sur le chemin du savoir, jalons qui y mènent ou obstacles qui l'entravent. L'évolution des idées, au cours de l'histoire, sur les liens qu'entretiennent opinion et savoir, sur ce qui les oppose et ce qui les

¹ *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences*, thèse de doctorat en sciences de l'Éducation, dir. A. Giordan et J. Guichard, soutenue le 29 janvier 2009, université de Genève.

unit, est riche d'enseignements qui peuvent être utiles pour prendre appui en classe sur les idées qu'expriment les élèves afin de mieux leur permettre de construire un savoir en le distinguant de leurs opinions. La séparation des mondes de l'opinion et du savoir, longtemps, n'a pas été évidente, et quelques regards historiques nous montrent des siècles d'une interpénétration que nous voudrions aisément démêler chez les élèves.

1. Monde subjectif *versus* monde objectif, ou le bec du pivert iakoute

1.1. Les trois mondes

Dès le Poème de Parménide (vers -500), nous signale Paul Ricœur, l'opinion est mise en jugement et condamnée. Le philosophe cependant se doit de célébrer « *celles des opinions qui, par leur relative stabilité, sont dignes d'être reçues* » (1975, p. 173). Mais l'opinion durable est-elle fiable ? Pas pour Socrate, qui ne cesse d'importuner ceux qui prennent pour pur savoir leurs opinions mal fondées – et il y perdra la vie. Platon nous le montre échouant cependant à définir la science à partir de l'opinion (*Théétète* ou *sur la Science*, 187c-210b). Il lui fait néanmoins séparer, dans l'allégorie de la caverne, le monde obscur des apparences et celui de la lumière solaire, monde intelligible de la connaissance (*La République*, 514a-518b).

Karl Popper estime que la nette distinction opérée par Platon entre ces mondes anticipe sa propre division (1979, p. 202). Il indique dans sa « théorie du monde 3 », comme il la nomme sur une suggestion du scientifique John Eccles (*id.*, p. 78) : « *Nous sommes en droit de distinguer les trois mondes ou univers suivants : premièrement, le monde des objets physiques ou des états physiques ; deuxièmement, le monde des états de conscience, ou des états mentaux (...); et troisièmement, le monde des contenus objectifs de pensée* » (*id.*, p. 181-182).

Le monde 2 est le “monde subjectiviste”, qui comprend « *des sortes d'expériences personnelles, ou de croyances, ou d'opinions* » (*id.*, p. 140). Mais, à la différence du monde des Idées de Platon, le monde 3 de Popper n'est en aucun cas celui de la “vérité certaine”, mais seulement celui de la *connaissance objective*. Son accès au monde 3 n'utilise pas non plus l'admirable faculté que Platon place en nous, « *l'œil de l'âme* », qui saisit d'emblée le savoir. Heureux pédagogues platoniciens qui pensaient pouvoir présenter quelques objets pour qu'aussitôt l'intuition et la réminiscence suscitent la connaissance !

Mais le monde des Idées de Platon est surtout peuplé de celles qu'il y met lui-même : les quatre éléments constitutifs de l'univers sont composés de triangles associés – les pointes qui dépassent de l'élément “feu” font qu'il pique-, triangles dont les réarrangements expliquent les transformations de la matière.

Aristote renverse ces vues de l'esprit par une critique sévère, qui met en avant l'inadéquation entre idées et faits chez les Platoniciens : « *ils en arrivent à dire des choses qui ne sont pas en accord avec les phénomènes.* » Ainsi, si le feu brûle à cause de ses angles, les autres éléments, qui en sont également pourvus, devraient au moins échauffer quelque peu, et sinon il faut dire pourquoi « *et non pas l'affirmer purement et simplement comme ils le font* ». Le danger vient du penchant pour ses idées : « *ils veulent que tout se plie à certaines opinions déterminées.* » (*Traité du Ciel*, 306a-307a).

Aristote jette les bases de la zoologie par ses nombreuses observations exactes, que célébrait Darwin : « *Linné et Cuvier ont été mes deux dieux, mais ils ne sont que des écoliers [schoolboys] par rapport au vieil Aristote.* » (Darwin, 1887, p. 252). L'accord des idées avec les phénomènes, voulu par le vieil Aristote, est-il dès lors le critère par lequel le savoir s'extrait des opinions ? Son système montre qu'il n'en est rien, puisqu'il substitue aux opinions fausses de son maître les siennes, plus séduisantes, qui hanteront durablement la

connaissance : chaque élément réunit deux “qualités” parmi quatre (chaud, froid, sec, humide), et de la sorte l’air (chaud et humide), s’il se refroidit, produit l’eau (froide et humide), ou s’il s’assèche, le feu (chaud et sec).

Pour lui le cerveau, lieu froid de terre et d’eau, a pour fonction de tempérer le feu du cœur, siège des passions et de l’âme, opinions assez pénétrantes pour subsister de nos jours dans le langage : “apprendre par cœur” peut se faire “de bon cœur”, tout en regrettant les “peines” du même organe. Leur force terrasse même l’observation : les sutures du crâne étant pour lui des ouvertures d’aération pour le cerveau, et les hommes l’ayant plus gros que les femmes, ils ont davantage de sutures... Parfaite vue de l’esprit.

1.2. Vérifier les propos et les fictions

Le contrôle soucieux des assertions naît dans la médecine antique. Certains prétendent soigner en ne se fiant qu’à leurs opinions (*dogma*), portant sur le déséquilibre des “humeurs” ou l’air cause de toutes les maladies : ils sont qualifiés de *Dogmatiques* par les dissidents fondateurs, vers -300/-250, de la secte des *Empiriques*, qui prône avant tout l’expérience (*empeira*).

Ces derniers sont remarquables en ce que, loin de rejeter les opinions d’autrui, ils les utilisent. Trois procédures forment leur “trépied” : *autopsia*, la vision par soi-même, *historia*, les opinions des devanciers, *epilogismos*, l’éclairage par les cas semblables. Mais dans les deux dernières, il n’y a qu’indication, à contrôler sous peine de rester dans le dogmatisme des opinions : « *Il nous est nécessaire non pas de croire simplement tout ce qui a été écrit par nos prédécesseurs, mais il faut l’éprouver avant de s’en servir. (...) Le passage au semblable n’est pas un vrai critère mais un critère de ce qui est possible* » (Galien [1998], p. 109-114).

C’est l’examen des possibles qui conduit ces *Empiriques* à un savoir plus sûr.

Un souci comparable habitera, au milieu des contes et des récits fantastiques du Moyen-Âge, les investigateurs franciscains du XIII^e siècle. Dans *Le Nom de la Rose*, le moine enquêteur s’inspire des préceptes de son maître Roger Bacon (1214-1294), dont la maxime perce les brumes mystiques médiévales dans un latin que nous comprenons encore aisément : *sola experientia certifiat, et non argumentum*. Frère Roger pourfend diverses opinions courantes, par exemple qu’un diamant ne peut être brisé que par le sang d’une chèvre (1267, p. 584). Pour lui, « *toutes les choses doivent être vérifiées par l’expérience.* » Il dénonce les obstacles (*offendicula*) qui s’opposent à la saisie de la vérité : l’esprit humain adopte des idées qui proviennent d’autorités trompeuses, de coutumes, des opinions des ignorants. Pour Voltaire, « *C’était de l’or encroûté de toutes les ordures du temps où il vivait* » (*Dictionnaire philosophique*). La voie de la connaissance mettra encore quatre siècles à s’en dégager.

1.3. Préserver le savoir des opinions : Bacon et Descartes

Au début du XVII^e siècle, la distinction entre opinions et savoirs est au cœur des considérations méthodologiques qui accompagnent la naissance de la science moderne. Dès 1600, W. Gilbert dresse la liste des « *opinions et illusions variées* » sur le magnétisme : un aimant sous l’oreiller d’une femme adultère la fait tomber du lit ! Des formations rocheuses attirent et arrachent tous les clous des navires (comme dans les *Mille et une nuits*). À ces « *fables et folies* », Gilbert oppose son approche : des « *tests* » expérimentaux (1600, p. 14). Bientôt Francis Bacon, inspiré par son homonyme le moine Roger, tient un discours sur la méthode (1620) qui précède celui de Descartes (1637). Tous deux sont grandement influencés par Montaigne, qui, plutôt que “s’infrasquer” dans les erreurs de l’humaine fantaisie, préférerait suspendre son jugement et s’en tenir à sa fameuse devise : « *Que sais-je ?* » (*Essais*, II, 12).

Pour aller plus loin, Bacon veut dégager le savoir des idées fausses qui y adhèrent et l'étouffent, tandis que Descartes, de son côté, veut l'en préserver, en recueillant à sa source pure le maigre filet des certitudes de l'entendement.

Bacon reconnaît comme "vrais fils des sciences" ceux qui ont le souci de ne pas s'en tenir aux belles opinions (*belle opinari*), mais d'y substituer un savoir probant (*ostensive scire*) (1620, p. 96-97). Il nomme *idoles*, terme utilisé par Platon pour les ombres de sa caverne, les idées fausses, illusions, préjugés et opinions que l'esprit reçoit ou se forge. « *L'esprit a été encombré par la vie quotidienne de oui-dire et de connaissances corrompues* » (1620, p. 94). Une formulation très proche de celles de Bachelard lorsqu'il caractérise les *obstacles épistémologiques* (1938, p. 13), d'autant que Bacon signale que certaines de ces idoles sont « *inhérentes à la nature même de l'entendement* » et « *se laissent difficilement déraciner* » ou « *sont totalement indéracinables.* » (1620, p. 81).

Descartes pourtant se fait fort d'avancer « *en déracinant de mon esprit toutes les mauvaises opinions que j'y avais reçues* » (1637, p. 54). Le « *Que sais-je ?* » de Montaigne ouvre la voie au *Cogito* de Descartes : que sais-je d'indubitable, une fois toutes les opinions rejetées ? Fort peu, mais au moins cette chose là, que je pense, et donc cette autre, que j'existe.

1.4. Opinions et jeu des possibles

Loin de vouloir éradiquer radicalement les opinions, comme en rêvaient Bacon ou Descartes, ou de prétendre que les hypothèses n'ont pas leur place dans la science, comme Newton, une pensée moderne telle que celle de François Jacob les intègre dans les *possibles* à éprouver : un salut, par-dessus tant de siècles, au trépied des *Empiriques*. Avant que Newton, qui proclame tout extraire des faits, ne réduise au silence les cartésiens et leur esprit inventif, Rohault, leur chef de file, livrait sa vue sur la place de l'expérience pour les savants : « *elle leur peut faire découvrir la vérité ou la fausseté des opinions qu'ils ont conçues.* » (1671, p. xxii).

Claude Bernard insiste sur l'importance de ce *contrôle* des idées chez tout savant : « *Toutes les fois qu'il avance une opinion ou qu'il émet une théorie, il doit être le premier à chercher à les contrôler* » (1865, p. 244) ; « *Il faut effacer son opinion aussi bien que celle des autres devant les décisions de l'expérience* » (*id.*, p. 72). Le changement d'opinion caractérise même la science : « *On croit devoir rougir de changer d'opinion : ce n'est pas le cas de la science. On doit changer d'opinion en science quand on travaille.* » (1850-60, p. 156).

• *Le bec du pivert iakoute*

Sans contrôle, l'opinion demeure sur le seuil du savoir. L'immunologiste Peter Medawar (1972, p. 30-36) s'en prenait avec véhémence à Claude Lévi-Strauss lorsque celui-ci qualifiait magie et science de "deux modes de connaissance", citant l'opinion des Iakoutes de Sibérie pour qui le contact d'un bec de pic soigne les maux de dents. Mais les mythes sont au mieux, pour Medawar, des structures vraisemblables candidates à ce qui peut être admis pour vrai, « *mais d'une candidature qui s'exonère d'examen public.* » Ce sont ces idées que reprend Fr. Jacob dans *Le jeu des possibles* (1981, p. 29) : mythe et science commencent tous deux par *l'invention d'un monde possible*, mais le mythe s'arrête là et fait de ce monde le réel. « *Pour la pensée scientifique, au contraire, l'imagination n'est qu'un élément du jeu. A chaque étape, il lui faut s'exposer à la critique et à l'expérience pour limiter la part du rêve dans l'image du monde qu'elle élabore.* »

François Jacob décrit en ces termes le chemin qui mène de l'imagination à l'objectivation : « *La démarche scientifique confronte sans relâche ce qui pourrait être et ce qui est.* » (p. 29).

- *L'opinion, tremplin pour le savoir*

Bacon et Descartes voulaient rejeter le monde de l'opinion pour accéder, chacun à sa manière, au savoir. Descartes tirant tout de ses propres pensées, Popper le range, avec Kant, parmi ceux qui tentent d'atteindre la certitude en prenant « *une chose très vague –les instincts ou opinions* » comme fondement solide d'un système assuré (1979, p. 85-88). Ne cherchant ni à les rejeter, ni à bâtir fermement dessus, Popper les utilise comme des points d'appui temporaires, instables et sans cesse renouvelés : « *La science ne repose pas sur une base rocheuse. La structure audacieuse de sa théorie s'édifie en quelque sorte sur un marécage. Elle est comme une construction bâtie sur pilotis* » (1934, p. 111).

Popper, qui écrit à Grmek que son ami Medawar lui a montré combien Claude Bernard avait anticipé ses vues², voit dans le monde 2 subjectif un tremplin pour le monde 3 : « *Les scientifiques agissent sur la base d'une supposition ou, si vous préférez, d'une croyance subjective (...) qui porte sur ce que promet le prochain développement dans le troisième monde de la connaissance objective.* » (1979, p. 188).

Il résume ainsi le cheminement scientifique : « *La méthode scientifique, c'est la méthode des conjectures audacieuses et des tentatives ingénieuses et rigoureuses pour les réfuter.* » (1979, p. 146). Il y associe ce schéma, qu'il nomme « tétradique » (*id.*, p. 260 et 367) :

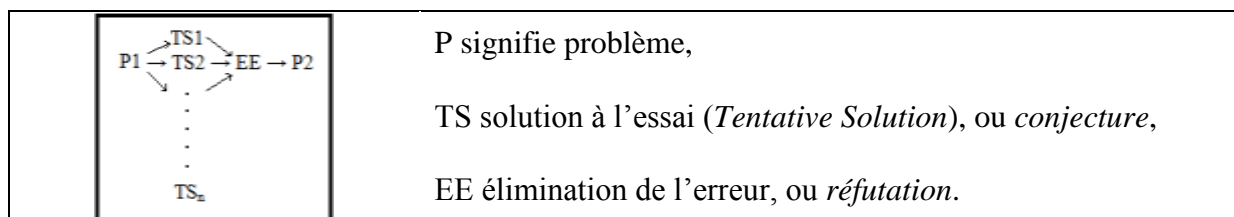


Figure 1. Le schéma tétradique darwinien de Popper.

Assimilant opinions, croyances et hypothèses, Popper estime que la connaissance progresse « *en éliminant nos croyances erronées* », selon un processus darwinien, « *la sélection naturelle des hypothèses* » (*id.*, p. 392). La science avance à travers les décombres des idées vaincues, et ainsi ce sont « *nos hypothèses qui meurent à notre place* » (*id.*, p. 369). Jacques Monod apprécie l'analogie évolutionniste : « *Conjecture et réfutation jouent en somme dans l'enrichissement de la connaissance, selon Popper, le même rôle logique (...) que mutation et sélection, respectivement, dans l'évolution du monde vivant* »³.

Stengers décrit joliment ce jeu : « *Il ne s'agit plus de vaincre le pouvoir de la fiction, il s'agit toujours de le mettre à l'épreuve (...). En d'autres termes, il s'agit toujours d'inventer les pratiques qui rendront nos opinions vulnérables* » (1993, p. 151).

Les idées qui survivent à ces pratiques constituent, dès lors, notre savoir toujours relatif.

- *De l'épistémologie à la didactique*

Ces idées épistémologiques, soutenues dans les années 1970 par Jacob, Monod, Medawar et Eccles, commencent alors à pénétrer en France le monde de la didactique, sous l'impulsion notamment de l'historien des sciences –et enseignant du secondaire- G. Gohau, élève de Canguilhem. L'analyse par Grmek des notes de laboratoire de Cl. Bernard y contribue grandement. La jonction entre épistémologie et didactique se cristallise en 1978 sous la forme

² Lettre du 20 janvier 1975 citée par Grmek, M. (1997). *Le legs de Claude Bernard*. Paris : Fayard, p. 13.

³ Préface de la traduction de Popper (1934), écrite en 1972.

d'un ouvrage collectif qui réunit Astolfi, Giordan, Gohau, Host, Martinand et Rumelhard. Ils rapprochent la pensée de Popper de certains des points essentiels de celle de Bachelard, comme la rectification des représentations premières faussées, et mettent en valeur « *l'attitude critique vis-à-vis de ses propres opinions et de celles d'autrui, la confiance en soi qui fait rechercher la solution d'un problème par soi-même.* » (Astolfi *et al.*, 1978, p. 14).

Le réexamen épistémologique de la nature de l'activité scientifique bat alors son plein, rappelait Astolfi (1990), ouvrant la voie à une « *transformation de l'épistémologie scolaire* ».

D'autant qu'à cette époque une circulaire « *modifie assez sensiblement la présentation de la science* », rappelle Gohau (2002, p. 174) : « *il n'y est plus question de résultats mais de démarche* ». Ce qui est visé est l'acquisition d'un « *véritable esprit scientifique* », en déterminant chez l'enfant une « *inquiétude scientifique* » lui faisant « *prendre conscience des difficultés que présente la recherche de la vérité* »⁴. Les enseignants qui tâchent alors de répondre à cette impulsion peuvent le faire en se tournant vers les enseignements de l'épistémologie, s'ils en disposent, qui montrent que dans l'histoire des sciences les idées claires ne sont pas premières, tout comme dans les classes (conceptions des élèves).

2. Dans l'enseignement : problèmes à résoudre, opinions à dissoudre

Ces vues ne se sont cependant pas aisément acclimatées dans l'enseignement, le professeur préférant souvent fournir aux élèves l'édifice bien solide qu'il a bâti ou, au moins, tous les plans de construction et des instructions précises pour maçons, plutôt que de leur faire éprouver leurs propres pilotis d'architectes hardis.

2.1. L'épistémologie scolaire en question

De nombreux travaux montrent que le virage épistémologique ambitionné n'a pas eu lieu. Les opinions des élèves n'ont guère leur place en classe, ceux-ci voyant leur rôle essentiellement restreint aux constats ou à la simple exécution de tâches prescrites. Si les textes officiels demandent de placer les élèves dans des situations de *résolution de problèmes*, cela se traduit trop souvent par leur écriture formelle en titre, qui indique simplement ce sur quoi vont porter les activités (Develay, 1989 ; Fillon & Monchamp, 1995, p. 80-82 ; Astolfi, 1997, p. 10-12).

L'observation est privilégiée au détriment de la dimension spéculative (Rumelhard, 2000), les expériences ont davantage un statut d'*illustration* que de test, l'hypothèse, lorsqu'elle n'est pas absente, est la « bonne », que le professeur la fournisse ou qu'il l'extrait des réponses d'élèves (Orlandi, 1991 ; Monchamp, 1993 ; Bomchil & Darley, 1998). « *L'expérience joue le rôle d'argument pour étayer un discours. Jamais elle ne joue le rôle qui est le sien dans la démarche hypothético-déductive de construction du savoir en science.* » (Fillon & Monchamp, 1995, p. 111). Les expériences sont même censées parler d'elles-mêmes (Driver *et al.*, 2000, p. 289) : elles rendent vain, dans ce cas, tout avis d'élève.

Les études internationales se rejoignent, nommant parfois *cookbook science* la « science des recettes de cuisine » où les élèves se bornent à appliquer des instructions. Weiss *et al.* (2003, p. 28) rapportent que la grande majorité des leçons de sciences reflètent « l'apprentissage passif » et « l'activité pour l'activité ». Les deux tours d'horizon internationaux, à vingt ans de distance, de Hofstein et Lunetta (2004) révèlent la stagnation sur ces points : les élèves perçoivent le plus souvent, comme but des « investigations », *suivre les instructions* ou *obtenir la bonne réponse*, et non mettre à l'épreuve des idées. Pour Chinn & Malhotra (2002, p. 175), les

⁴ Circulaire n°IV 68-251 du 17 octobre 1968, *Bulletin officiel* n°1, 12 janvier 1969.

« *simples expériences, simples observations, et simples illustrations* » ont très peu de ressemblance avec les activités des scientifiques : « *l'épistémologie de nombreuses tâches scolaires d'inquiry est antithétique avec l'épistémologie de la science authentique.* »

L'enseignement des sciences tel qu'il est pratiqué ne parvient pas non plus à faire acquérir aux élèves une bonne compréhension de ce qu'est la *nature de la science*, alors même qu'il s'agit d'un objectif énoncé en Grande-Bretagne et aux États-Unis, élément considéré comme central dans la culture scientifique (Lederman, 1992 ; Millar & Osborne, 1998). La saisie des caractéristiques de la science intègre celle du rôle de la subjectivité, et donc des opinions, dans la production des connaissances scientifiques. Pour y sensibiliser les élèves, certains auteurs, tels Lederman (2007), préconisent des interventions explicites sur ce thème pendant les séances, tandis que d'autres, tels Hofstein, estiment que le vécu de séquences d'investigation pourrait y suffire, dès lors qu'elles s'appuieraient correctement sur la prise en compte de problèmes scientifiques, la formulation d'hypothèses et la conception d'expériences (Hofstein & Lunetta, 2004 ; Lunetta, *et al.*, 2007).

Par une approche explicite ou implicite, ces auteurs en appellent à une éducation scientifique qui donne une vue adéquate de la nature de la science, mettant notamment en lumière le rôle qu'y jouent l'opinion et la subjectivité, l'imagination et la créativité.

2.2. Bâtir sur d'incertaines opinions

Le travail sur les aspects subjectifs n'est donc pas ce qui caractérise les séances de sciences. John Dewey, dont les idées sont à l'origine d'un enseignement centré sur les problèmes à résoudre, les définissait pourtant comme ce qui « *déconcerte et excite l'esprit, au point de rendre l'opinion incertaine* » (1909, p. 20). Pour lui, « *chercher à multiplier les suggestions alternatives est un élément important d'une bonne activité de pensée* » (p. 103). Ce point de vue est partagé par divers auteurs, qui envisagent des stratégies prenant en compte les opinions et les conceptions des élèves, pour les utiliser plutôt que les ignorer. Giordan et De Vecchi soulignaient le paradoxe apparent d'une construction sur des opinions instables : les ébranler tout en s'appuyant dessus (1987, p. 135). Mais le statut d'hypothèses à éprouver leur étant conféré, les pilotis qui tiennent se distinguent de ceux qui s'effondrent.

De nombreux éducateurs proposent de faire toute leur place, aux côtés des activités pratiques et des manipulations, aux activités *intellectuelles* et à la manipulation *des idées* par les élèves. Le rôle que devraient jouer les hypothèses leur paraît primordial. Pour Develay (1989), « *Lorsque la méthode expérimentale ne conduit pas les élèves à émettre des hypothèses, (...) l'apprenant est réduit à un rôle d'exécutant de tâches manuelles et à l'analyse des résultats.* » Gil-Pérez (1993) estime que les activités créatives telles l'invention d'hypothèses sont pratiquement absentes des classes. Robardet & Guillaud (1997, p. 93) préconisent une démarche « *fondée sur l'hypothèse* », et Bomchil & Darley (1998) proposent un « remède » dans lequel les enseignants « *laissent leurs élèves libres d'énoncer leurs hypothèses* ». C. Orange (2002) intitule un article d'une formule provocatrice, « *l'expérimentation n'est pas la science* », où il conclut sur la nécessité, pour les élèves, de « *développer des idées explicatives (...) qui donnent lieu à de véritables débats scientifiques dans la classe.* »

De tels débats confrontant les opinions non seulement sont absents, mais ne sont souvent pas même envisagés : « *Il n'y a donc pas de place prévue pour la formulation d'hypothèses ou les activités (...) susceptibles de mettre à jour les points de vue des élèves* » (Goffard, 2003).

La compétition entre idées est pourtant au cœur de la science, comme le rappellent Driver *et al.* (2000, p. 288) en soulignant la nécessaire discussion sur la pertinence d'une expérience,

tandis que Clough (2002) préconise que les élèves « *inventent les procédures de travaux pratiques* » et que « *les professeurs leur demandent d'expliquer ce qu'ils comptent faire* ».

Une « *nouvelle approche* » a récemment été proposée par Hofstein *et al.* (2008), qui conjugue « *l'argumentation et la justification des assertions* » et le développement de capacités métacognitives permettant aux élèves d'opérer la « *sélection des hypothèses plausibles parmi des explications en compétition* », de réfléchir sur leurs stratégies, de concevoir des expériences pour tester diverses hypothèses, dans des activités qui « *engagent l'esprit aussi bien que les mains* ». Ces orientations didactiques montrent ici particulièrement leurs points d'appui sur l'épistémologie : nous retrouvons l'élimination darwinienne décrite par Popper, et l'invention de ces pratiques qui rendent les opinions vulnérables. C'est le « *jeu des possibles* » de Fr. Jacob qu'il s'agit d'instaurer en classe, le débat d'idées dont certaines s'effaceront devant les décisions des expériences qu'elles suggèrent.

Dans cet esprit, la recherche menée dans le cadre de notre thèse demande expressément aux élèves d'exprimer leurs opinions, reflets de leurs conceptions. Prendre appui sur celles-ci suppose de les leur faire considérer comme des *hypothèses*, les pilotis précaires sur lesquels Popper voit la science se constituer. Vient alors le travail sur leur recevabilité, qui souvent suffit à écarter certains états défectueux, avant l'élaboration de stratégies de mise à l'épreuve.

3. Le crédit des opinions en classe

Nous avons proposé à une équipe d'enseignants de SVT de mettre en œuvre une approche (résumée en partie 4) destinée à laisser les élèves exprimer leurs opinions, pour bâtir sur elles tout en ébranlant leurs fondements. L'étude préliminaire a porté sur seize classes : sept classes de 5^e, cinq de 3^e et quatre de 2^{de}, dans des établissements de la région parisienne. La recherche s'est ensuite concentrée sur six de ces classes (deux par niveau) suffisamment représentatives de cet ensemble ; elle a été ponctuellement étendue en direction de quatre classes de 1^{re} scientifique afin de contrôler certaines conclusions partielles nées en cours de recherche.

Au préalable, nous avons procédé à un état des lieux sur le *crédit* que les élèves apportent à leurs propres opinions et à celles d'autrui, cherchant à déterminer si l'élève est capable de mesurer la distance qui sépare l'opinion du savoir, lorsqu'il considère l'opinion de quelqu'un d'autre comme la sienne propre.

3.1. Éprouver les opinions des autres

Dans les tests proposés pour cet aspect, des opinions incertaines sont présentées aux élèves, l'une dans le champ des sciences (conditions favorables à la germination et à la croissance du blé), l'autre en étant au contraire très éloignée (justification du stationnement payant en ville).

Des avis divergents leurs sont soumis, et les élèves doivent dans un cas indiquer à quelle position ils adhèrent (test n°1) et dans l'autre, *proposer eux-mêmes* un moyen pour trancher la question (test n°2). Le recours à l'expérience est un choix possible dans le test n°1, tandis que rien ne le suggère dans le test n°2.

« On obtient une bien meilleure récolte de blé quand il est semé en période de pleine lune. »

Voici les réactions de 5 personnes à ce texte (notées A à E) :

A. Oui, c'est vrai, la graine aura germé un mois après, ce sera de nouveau la pleine lune et sa lumière favorisera la croissance de la jeune plante.

B. C'est sûrement faux, comme bon nombre de croyances sur la lune.

C. C'est vrai, on sait que la lune agit aussi sur les marées.

D. Il faudrait planter du blé avec et sans pleine lune pour comparer.

E. La germination est une naissance, comme pour nous elle dépend de la lune et des autres astres.

1. Indique dans le tableau : dans la **ligne 1**, les réactions qui te conviennent, en attribuant le n°3 à celle qui te semble la meilleure, puis en classant les autres par ordre de préférence (2, 3, 4...) ; dans la **ligne 2**, les réactions que tu rejettes (s'il y en a), de la moins à la plus rejetée.

	1	2	3	4	5
Ligne 1 Réactions qui te conviennent, par ordre de préférence →					
Ligne 2 Propositions rejetées (s'il y en a), de la moins à la plus rejetée →					

2. Explique ton choix pour les propositions que tu as classées en n°3 et en n°5.

3. Explique l'ordre choisi entre les propositions classées en n°1, 3 et 4.

Figure 2. Test n°1 : Récolte et pleine lune.

Dans une rue de grande ville, le stationnement, jusqu'alors gratuit, est rendu payant. L'association SLG (*Stationnement Libre et Gratuit*) proteste, et l'échange suivant a lieu entre son président, monsieur Sagan, et le maire :

M. Sagan – Vous rendez le stationnement payant alors qu'il ne l'était pas ! Ce n'est qu'un moyen abusif de remplir les caisses de la mairie sur notre dos !

Le maire – Monsieur, la loi me permet de faire payer pour stationner.

M. Sagan – La loi, je vous la rappelle monsieur le maire : rendre le stationnement payant sur une voie publique (donc appartenant à tous) n'est légal que si cela permet une amélioration des conditions de circulation (circulaire du 15.07.1982).

Le maire – Voilà, c'est bien pour ça que je le fais. Les gens resteront moins longtemps, libèreront des places pour les autres et cela circulera mieux !

M. Sagan – Je conteste que cela ait cet effet sur la circulation : ce n'est qu'un prétexte !

Le maire – Nous ne sommes pas du même avis.

Mets-toi à la place de **M. Sagan** : **quelle demande ferais-tu au maire afin de montrer si tu as raison ou non ?**

Figure 3. Test n°2 : Le stationnement payant.

Le choix de la réponse D est attendu pour le test n°1, et pour le test n°2, une réponse comme celle-ci : « *Je lui demanderai de faire l'expérience suivante : pendant une semaine les places ne sont pas payantes et on regarde le nombre de bouchons et si la circulation est chargée ou non. On refait la même expérience, en mettant les places payantes.* » (Élève de 5^e2).

Sur les 149 élèves des six classes retenues, seuls 59 choisissent et justifient le recours à l'expérience dans le test n°1 (40%), et ils ne sont que 38 à le proposer pour le test n°2 (25%). 60% des élèves dans le premier cas, et 75% dans le second, proposent d'autres moyens, dont, pour le stationnement, un sondage ou un vote, ou n'en proposent pas.

3.2. Dans l'erreur avec conviction

Nous avons, dans un autre test, proposé à des élèves dix affirmations correspondant à des conceptions initiales classiques, en leur offrant la possibilité d'exprimer à leur sujet leur

doute, leur ignorance ou leur certitude. Affirment-ils avec aplomb ce qu'ils croient, *alors même qu'ils se trompent ?*

Pour chacune des 10 affirmations ci-dessous, tu dirais :			1	2	3	4	5
1. Je suis sûr que oui 2. Sûrement, c'est probable	3. Je ne sais pas	4. Sûrement pas 5. Je suis sûr que non					
Dans le ventre de sa mère, le bébé avale du lait							
Ce qu'on digère se retrouve en partie dans le sang							
Les "couches de roches" (strates) que l'on voit parfois à la montagne ou dans les falaises se sont déposées autrefois au fond de la mer							
Dans le cycle d'une femme, les règles correspondent à l'évacuation de l'ovule							
Certains caractères héréditaires se transmettent par le sang							
Les grains de sable d'une plage faisaient partie ensemble, autrefois, de roches dures							
De l'estomac part un tuyau pour les liquides et un tuyau pour les solides							
Le cœur bat tout seul, même s'il n'y a plus de nerfs qui y parviennent							
En observant de l'eau pure à très fort grossissement on verrait des cellules							
Les deux extrémités d'un muscle long sont attachées à des os différents							

Figure 4. Test n°3 : Quelles certitudes ?

L'étude sur ce point a porté sur l'ensemble des seize classes. La proportion de certitudes erronées ("je suis sûr que oui" pour quelque chose de faux ou "je suis sûr que non" pour quelque chose de juste) varie, selon les classes, entre 14% et 23%, avec une moyenne de 17%. La mention "je ne sais pas" est choisie, suivant les classes, pour 15% à 27% des affirmations, avec une moyenne de 23%.

Les élèves de seconde, étant à la fois ceux qui affirment le moins sans savoir et ceux qui utilisent le moins "je ne sais pas" (respectivement, 14% et 15,5%), paraissent mieux se fier à leur savoir, et moins à leurs opinions, que ceux de collège.

La proportion d'allégations aussi catégoriques qu'inexactes se révèle donc assez élevée. Selon ces résultats, un enseignant peut donc s'attendre à ce que, dans une classe de collège, une affirmation fautive soit avancée avec aplomb dans presque un cas sur cinq, et bien que dans notre étude cette proportion diminue à l'entrée au lycée, ce progrès apparent est relativisé par le fait que toutes ces affirmations sauf une (celle sur le cœur) figurent dans les programmes qu'ont suivis ces élèves au collège et sont donc censées être des acquis.

3.3. Résister à une "démonstration" expérimentale ?

Le test suivant concerne une opinion à laquelle on veut faire adhérer les élèves en relatant une démonstration de type expérimental, censée être probante. Ils doivent se prononcer sur la conclusion tirée de l'usage d'un modèle souvent mis en œuvre pour figurer deux types d'éruption volcaniques. Pour des élèves habitués aux "mises en évidence", parfois accompagnées de tels modèles dont l'enseignant peut se servir sans en faire ressentir les limites, il s'agit d'un indicateur de pensée critique élevée. C'est, avec ce test, la réflexion des élèves sur la valeur d'un contrôle des idées sans contact direct avec le réel qui est sollicitée.

<p>Un explorateur se demande pourquoi existent dans le monde deux grands types de volcans :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les “rouges” dont la lave s’écoule facilement ; - les “gris” dont la lave s’écoule mal et s’accumule en formant des bouchons compacts qui peuvent être évacués par blocs entiers, en explosant. 	
<p>Il pense que c’est dû à l’existence de deux sortes de laves : l’une plus fluide, l’autre plus visqueuse. Pour savoir si c’est bien ce qui se passe dans les volcans, il réalise les expériences suivantes :</p>	
Cachet effervescent dans l’eau et ketchup	Cachet effervescent dans l’eau et ketchup + purée
Le ketchup, assez liquide, est expulsé du tube par le gaz et coule le long du verre.	Le mélange "purée - ketchup", pâteux, est expulsé du tube par le gaz et sort par blocs compacts entiers.
Le montage de gauche représente pour notre explorateur-expérimentateur un volcan “rouge” (qui aurait une lave fluide), le montage de droite, un volcan “gris” (qui aurait une lave visqueuse).	
Voici sa conclusion : « Grâce à ces expériences je sais désormais ce qui se passe dans les deux sortes de volcans : les “rouges” ont une lave fluide comme du ketchup qui s’écoule aisément, tandis que les “gris” ont une lave bien plus visqueuse qui s’accumule, fait bouchon, et tout finit par exploser ! »	
➔ Que penses-tu de cette conclusion ?	

Figure 5. Test n°4 : Des “volcans” en classe !

Ne pas adhérer à la conclusion présentée est difficile pour une très grande majorité d’élèves, et savoir justifier cette réserve l’est davantage encore. Certains cependant s’en montrent capables, comme dans la réponse d’un élève de cinquième : « *Cette conclusion n’est pas valable car dans le volcan ce n’est pas le ketchup qui coule ni la purée c’est la lave, et la lave est autre chose.* » Sur les six classes de référence, ce refus d’admettre la présentation d’un modèle expérimental en guise de preuve ne concerne que 8% des élèves, 77% y adhérant sans la moindre réserve (15% ne se prononcent pas). Une modélisation suffit donc généralement à emporter leur conviction, d’autant que la manipulation est concrète et attrayante.

4. Suivre les opinions des élèves... jusqu’à leur perte ou leur triomphe (relatif)

Transposer en classe le schéma darwinien de Popper nécessite que les opinions des élèves puissent s’y exprimer sans crainte, et qu’ils soient incités à en débattre puis à concevoir les moyens d’éprouver leur capacité à survivre. Pour ce faire, nous avons proposé à l’équipe d’enseignants impliquée dans notre recherche d’adopter “l’attitude *Quo vadis ?*” [où vas-tu ?], ainsi nommée parce que l’enseignant demande aux élèves d’indiquer, à partir d’un problème à résoudre, quelles directions ils suggèrent de prendre, en conformité avec la procédure souhaitée par Clough (2002). Il donne des impulsions, non des solutions plus ou moins directes. Cette attitude correspond au mode d’emploi préconisé pour l’outil nommé “DiPHTeRIC”, outil constitué d’un modèle de démarche scientifique du même nom (l’outil DiPHTeRIC = le modèle DiPHTeRIC + son mode d’emploi, *Quo vadis ?*).

4.1. Le modèle non linéaire DiPHTeRIC

Ce modèle se caractérise par son absence de linéarité et par l'importance attribuée aux phases d'élaboration d'hypothèses et de conception de stratégies pour les tester. Il reprend la facilité mnémotechnique d'un sigle, en contrepoint du terme critique OHERIC (observation-hypothèse-expérience-résultat-interprétation-conclusion), forgé par A. Giordan dans sa thèse (1976). Dans ce modèle, l'observation n'est qu'un élément des données initiales (Di), avec les théories, conceptions, et autres idées et faits qui préparent à la formulation d'un problème (P). Celui-ci est susceptible de conduire à diverses hypothèses, chacune d'entre elles pouvant donner lieu à la conception de plusieurs tests (Te) qui ne sont pas forcément expérimentaux. L'aspect buissonnant de ce modèle, les possibles voies sans issues et retours en arrière qu'il intègre n'apparaissent cependant pas dans le sigle : l'insistance sur la diversité des hypothèses aurait pu être figuré par DiPHHHTeRIC, ou encore par le recours au mot en anglais qui, s'orthographiant *diphtheric*, introduit une nouvelle hypothèse en plein milieu d'un test.

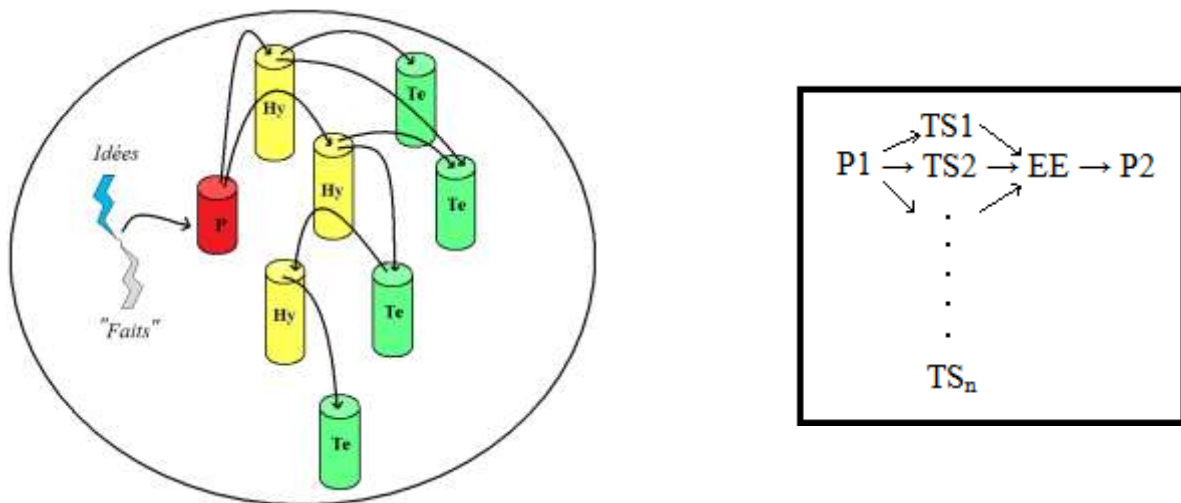


Figure 6. Le noyau PHyTe. En regard, le modèle tétradique poppérien.

Le noyau central de ce modèle est constitué, en accord avec le schéma tétradique poppérien (fig. 1), par l'interaction problème-hypothèses-tests, abrégée *noyau PHyTe* (fig. 6). Cette figuration révèle l'aspect divergent que le sigle ne peut montrer. L'impact d'un sigle a cependant un côté négatif : un lecteur pressé qui ne va pas au-delà peut en induire abusivement qu'il s'agit là d'un modèle linéaire, ce qui est à l'opposé total de sa caractéristique majeure. De même, un enseignant qui ne se penche pas sur le mode d'emploi associé peut, à l'instar de certains de ceux qui prirent OHERIC pour un modèle à suivre, se satisfaire d'égrener en classe des étapes dûment étiquetées, sans initiative pour les élèves. Nous assumons ces risques inhérents à toute proposition d'outil, l'effort nécessaire n'étant pas démesuré pour détromper les regards hâtifs et éviter de transformer les œillades en œillères.

Ce modèle de démarche scientifique hypothético-déductive, avec l'importance conférée à l'invention des hypothèses, est basé sur une interrogation approfondie de l'histoire des sciences et de l'épistémologie⁵, qui montre que les problèmes scientifiques surgissent le plus souvent d'une confrontation entre idées anciennes et faits nouveaux, et que ce noyau dur est

⁵ Cariou, J.-Y. (2010). *Une histoire des démarches scientifiques*. Préface de Gabriel Gohau, collection *Inflexions*, Vuibert-Adapt, à paraître.

présent dans la plupart des découvertes. Il correspond globalement aux vues communes de Popper⁶, Medawar, Jacob et Monod.

Les modèles de démarches scientifiques présentés en didactique par Gil-Pérez (1993), Robardet et Guillaud (1997, p. 85) et Giordan (1999, p. 53) sont également structurés, de manière plus ou moins détaillée, autour de ce noyau *PHyTe* : le relevé des étapes-clés qui en forment l'ossature montre leur correspondance avec le schéma DiPHTeRIC (fig. 7), ces parallèles mettant en évidence le *noyau PHyTe* commun (zone grisée).

D. Gil-Pérez (1993)	G. Robardet et J.-C. Guillaud (1997)	A. Giordan (1999)	Modèle DiPHTeRIC
Corpus de connaissances (théories), croyances... et situation problématique ouverte	Structure théorique disponible	État de la question (situation-problème et corpus documentaire)	→ ↓ ← Di ← ↓ →
Énoncé précis du problème	Situation initiale problématique	Énoncé des problèmes	P ← ↓ →
Construction d'hypothèses réfutables	HYPOTHÈSES	Formulation d'hypothèses	H ↑ ← ↓ → ↑
Élaboration de stratégies de mise à l'épreuve des hypothèses	Expériences tests	Formulation d'une stratégie expérimentale	Te ↑ ← ↓ → ↑
Interprétation des résultats	Résultats	Interprétation des résultats	R ↑ ← ↓ → ↑
	Recherche du domaine de validité		I ↑ ← ↓ → ↑
Communication des résultats	LOI ou modèle	Réalisation d'une publication	C

Figure 7. Étapes-clés comparées de modèles de démarches scientifiques et simplification DiPHTeRIC.

Les diverses flèches qui illustrent les bifurcations et retours possibles au cours du processus sont représentées ici seulement en dernière colonne.

Plus ces modèles sont complets et précis et plus ils sont proches de la réalité du laboratoire, mais moins, dans le même temps, ils sont aisés à manier pédagogiquement. Inversement, un modèle est d'autant plus abordable pour un enseignant qu'il sera épuré et synthétique, mais alors il perd en authenticité ce qu'il gagne en simplicité. Il apparaît cependant qu'au sein d'un réseau d'interactions entre étapes, le schéma d'ensemble suivant puisse être dégagé : à partir de données d'origines variées, un problème scientifique apparaît, qui conduit à la formulation d'hypothèses. Des stratégies sont alors imaginées pour tester des conséquences déduites de celles-ci, et les résultats obtenus mènent à leur rejet, à leur modification ou à une corroboration qui devra être confirmée par la communauté scientifique.

- **Ni linéarité, ni unicité des démarches**

Précisons que, si le schéma du noyau *PHyTe* en montre clairement l'absence de linéarité, cela ne revient nullement à prétendre qu'il n'y aurait qu'une démarche unique en sciences, hypothético-déductive. L'induction, la rencontre fortuite peuvent être, elles aussi, fructueuses ; toutefois, quel que soit l'itinéraire suivi pour saisir une idée, celle-ci ne saurait,

⁶ Même si la vision poppérienne a été affinée par ses successeurs – ainsi, une théorie n'est-elle pas historiquement rejetée dès qu'elle est réfutée. Ce noyau dur cependant survit à l'introduction des idées de Kuhn (1962), Lakatos (1978) ou Feyerabend (1975).

en sciences, être exonérée d'un *contrôle*. Canguilhem notait à ce sujet, dans ses *Leçons sur la méthode* (1941-42) : « *L'épistémologie contemporaine ne connaît ni les sciences inductives, ni les sciences déductives. (...) Elle ne connaît que des sciences hypothético-déductives.* »

Il résume en une formule marquante : « *Il faut la raison pour faire une expérience et il faut l'expérience pour se faire une raison.* »

4.2. L'attitude "*Quo vadis ?*"

Il s'agit de laisser les élèves résoudre les problèmes *par leurs propres forces intellectuelles*, le cheminement de la classe étant basé sur les hypothèses et propositions exploratoires des élèves eux-mêmes, comme le préconisent, nous l'avons vu, divers auteurs (tels Develay, 1989 ; Fillon et Monchamp, 1995 ; Astolfi, 1997 ; Orange, 2002 ; ou Goffard, 2003). Lorsque c'est nécessaire, le professeur *aiguillonne sans aiguiller* par des questions de stimulation, de type *Quo vadis ?* Son rôle est à la fois celui d'un témoin désireux d'avoir la suite, d'un logicien rigoureux exigeant des justifications, d'un logisticien sourcilieux ne fournissant documents et matériel que sur demande expresse argumentée. Cela permet de placer les élèves, vis-à-vis de leurs opinions, dans des situations partiellement similaires à celles des chercheurs, telles que les a révélées l'analyse historique et épistémologique. La prise d'initiative, l'instauration d'un débat en classe, notamment sur la recevabilité des propositions, répond alors aux nécessités ressenties pas Driver *et al.* (2000) ou encore Hofstein *et al.* (2008). L'exemple type d'attitude *Quo vadis* est celle d'un professeur au moment où un problème est posé : au lieu d'*indiquer* ensuite quelles activités imposées vont être mises en œuvre pour le résoudre, il laisse les élèves s'exprimer, formuler des hypothèses, s'accorder ou s'opposer sur la conduite à tenir. S'il estime cela plus confortable, le professeur peut placer sa séquence à cheval sur deux séances ("*progression saltatoire*"), recueillant les propositions à la fin de la première et les analysant avant la seconde. Il évite ainsi le biais qui peut faire que son *attitude trahit l'exactitude* (ou non) d'une proposition : les élèves doivent ressentir qu'il leur faut analyser la recevabilité ou la pertinence des idées, sans même tenir compte, dans un premier temps, du caractère réalisable ou non des tests proposés : suivre le trajet d'une molécule, faire fondre une roche... Qui sait si le professeur ne dispose pas de moyens insoupçonnés, ou d'équivalents, répondant à ces attentes ?

Situation	Attitude <i>Quo vadis ?</i>
Heurt entre acquis ou opinions et éléments nouveaux →	Qu'en dites-vous ?
Problème à résoudre (comment expliquer... ?) →	Quelles solutions proposez-vous ?
Hypothèses avancées →	Qu'en pensez-vous ? (<i>Les autres</i>)
Hypothèses retenues après discussion →	Comment savoir ce qu'il en est ?
Tests proposées →	Qu'en pensez-vous ? (<i>Les autres</i>)

Figure 8. Exemples d'attitude *Quo vadis ?*

Une série d'exemples concrets et détaillés de progressions, présentant les conceptions et propositions courantes des élèves, a été fournie aux professeurs au cours de cette recherche, non à titre de modèles, mais bien d'exemples, à adapter ou dont s'inspirer.

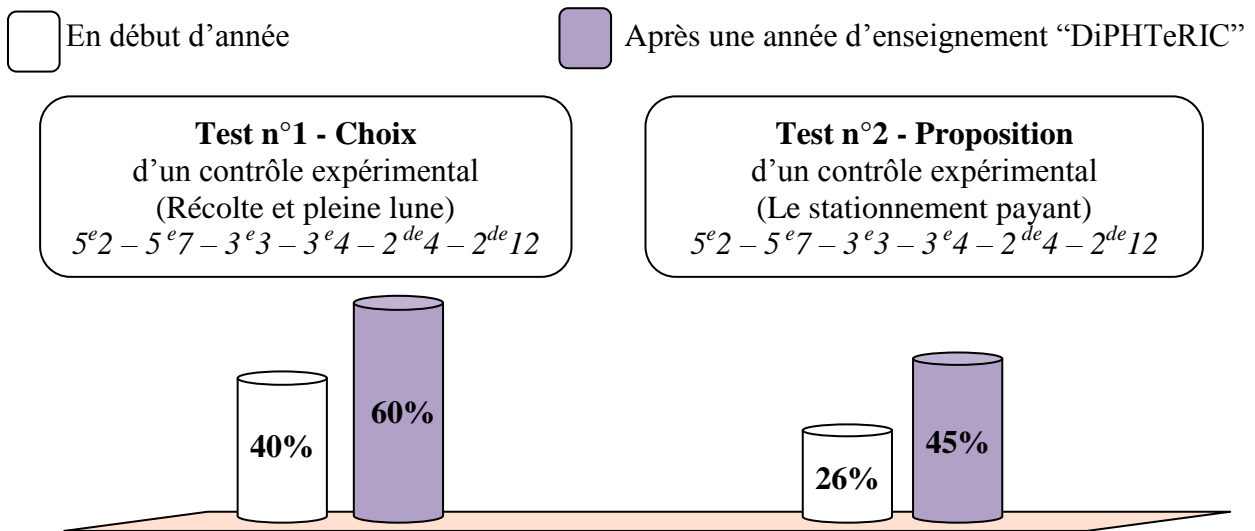
Ces principes restituent la logique d'un enseignement par problèmes, telle que l'exposait Dewey : si l'on place les élèves face à un problème, c'est pour qu'ils soient à une certaine distance intellectuelle de la solution ; à eux de tenter de s'en rapprocher, en disant comment, sans que la fourniture intempestive de matériel ou d'un document vienne faire s'effondrer la tâche intellectuelle, rendant stérile la considération initiale d'un problème.

4.3. Résultats obtenus relativement aux opinions des élèves

À l'issue d'une année de suivi de l'enseignement préconisé (2007-2008), les tests passés lors de la rentrée scolaire ont de nouveau été proposés aux élèves, afin d'estimer son efficacité du point de vue de la formation de leur esprit scientifique.

- *Davantage de remise en cause des assertions d'autrui*

Résultats pour les tests n°1 et n°2.



Les résultats du test n°1 montrent un net accroissement entre pré- et post-test du nombre d'élèves (40 à 60%) qui préfèrent le recours à l'expérience aux arguments avancés dans les autres choix proposés, et justifient leur suffrage. Le test n°2 permet d'estimer l'ampleur avec laquelle l'idée d'une mise à l'épreuve d'une affirmation peut être transposée hors du domaine des sciences, dans un secteur aussi éloigné que celui des problèmes de la circulation automobile. L'accroissement d'ensemble est net : de 26 à 45% d'élèves qui n'admettent pas telle quelle l'affirmation du maire de la ville, et ne se contentent pas non plus, comme cela est souvent proposé en pré-test, de suggérer un sondage d'opinion pour trancher.

La gradation de difficulté entre les deux tests, concernant le recours à l'expérience, choix dans une liste pour une question scientifique ou proposition dans un domaine éloigné des sciences, se retrouve dans la différence de résultats. Dans les deux cas, les avis proposés sur les effets de la Lune ou du paiement urbain sont davantage considérés comme des affirmations péremptoires, opinions douteuses à contrôler par l'expérience.

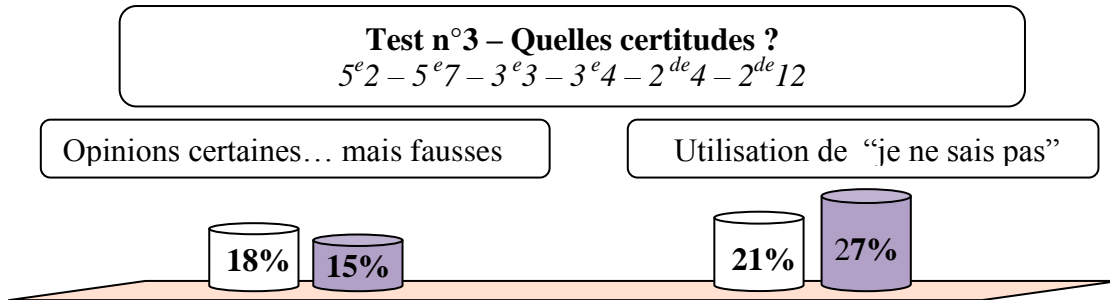
Sans avoir fait l'objet d'une réflexion particulière, le recours à l'expérience, caractère hautement scientifique, est apparu naturel à davantage d'élèves, ce qui conforte la position de Hofstein sur l'effet d'une approche implicite de la nature de la science par des investigations authentiques, telles qu'elles peuvent être menées à l'aide de l'outil DiPHTeRIC.

Certaines études ont par ailleurs indiqué des liens entre cette compréhension par les élèves de la nature de la science et leur manière de traiter des problèmes extra-scolaires (Sadler *et al.*, 2004), liens qui paraissent ici expliquer les résultats du test n°2.

- *De fausses certitudes personnelles difficiles à atteindre latéralement*

Nous avons cherché à savoir si les fausses certitudes des élèves exprimées dans le pré-test n°3 pouvaient être atteintes alors *même qu'elles n'étaient pas ciblées*, par ricochet en quelque sorte. Voir en classe à plusieurs reprises ses propres opinions ou celles des autres, même d'apparence solide, ne pas survivre aux tests, pouvait-il engendrer un regard suspicieux sur les autres "certitudes" exprimées en début d'année ? Nous avons exclu les questions traitées dans l'année, l'évolution ou non du doute ne portant que sur des sujets non vus entretemps.

Les affirmations aussi certaines que fausses régressent en effet dans la plupart des classes, cependant les évolutions sont peu sensibles (jusqu'à -7% dans le meilleur cas). Le "je ne sais pas" est aussi, dans l'ensemble, plus souvent choisi ; une analyse globale des réponses dans les six classes donne les résultats suivants :



La proportion de réponses "je ne sais pas" sur les questions non traitées au cours de l'année passe de 21 à 27 % (soit + 6%), ce qui peut traduire un gain en circonspection, mais l'écart demeure trop faible pour ne pas demeurer nous-mêmes, justement, dans la circonspection.

Nous avons vu précédemment les élèves progresser dans la remise en cause des opinions *des autres* (tests n°1 et n°2) : le travail semble bien plus difficile vis-à-vis de leurs *propres certitudes*, même lorsqu'elles sont infondées, si elles ne font pas l'objet d'un examen spécifique. Nous nous heurtons probablement ici à certains des *obstacles épistémologiques* de Bachelard, correspondant aux *idoles* de F. Bacon et aux *offendicula* du moine R. Bacon. L'enracinement de ces idées fausses paraît profond, les élèves affirmant des certitudes infondées alors que leur était offerte la possibilité de s'exprimer avec plus de prudence en utilisant "sûrement" ["pas"], plutôt qu'un "je suis sûr" aussi tonitruant que chimérique.

Comme l'a relevé Giordan : « *Pour toutes sortes de raisons, l'apprenant ne se laisse pas facilement déposséder de ses opinions et de ses croyances* » (1998, p. 43), même lorsqu'elles sont spécifiquement mises en question. Le fait d'avoir, au cours de l'enseignement suivi, avancé des propositions fausses et d'avoir dû reconnaître, en les suivant, leur caractère erroné, paraît avoir peu d'emprise sur les *autres* idées fausses, qui n'ont subi aucun assaut en cours d'année, et poursuivent leur règne sans "effet de contagion" apparent.

Ces résultats permettent de mesurer à quelles résistances l'enseignant peut se heurter, d'autant que, loin de s'agir de "perles" inconséquentes, nous avons affaire à des conceptions dont l'étude didactique a montré qu'elles possèdent leur cohérence, et qui trouvent leur origine dans des procédures, analogies ou inductions, dont l'élève a pu constater l'efficacité pour parvenir à d'autres idées, qui se sont révélées pertinentes.

• "Coutumes" de classe et esprit critique

L'"expérience" relatée par le document du test n°4 correspond, pour les élèves, à un substitut de ce qui pourrait se faire en classe, et il se peut que certains aient eu droit à une pareille démonstration. Dès lors, refuser son adhésion à la conclusion nécessite que l'élève s'oppose frontalement à une expérience dont l'étude en classe a valeur, pour la plupart, d'un sceau

d'authenticité probatoire. La "coutume didactique" (Balacheff, 1988) bien implantée veut qu'une démonstration faite en classe de sciences, ou relatée par un document distribué par un professeur, ne soit pas là pour être contestée mais pour appuyer la notion qu'il a en vue.

8% des élèves résistaient à cette adhésion en début d'année, tandis que 77% exprimaient leur acceptation du modèle en guise de preuve : aucune différence significative, cette fois, n'apparaît en fin d'année ; la stabilité de la proportion de "contestataires" est même notable (9%, pour 78% d'adhésion pure et simple).

La modélisation choisie correspond à celle dont Bachelard dénonçait l'effet trompeur : « *Le pittoresque de l'image entraîne l'adhésion à une hypothèse non vérifiée. Par exemple, le mélange de limaille de fer et de fleur de soufre est recouvert de terre sur laquelle on plante du gazon : alors vraiment il saute aux yeux qu'on a affaire à un volcan ! (...) La physique du globe n'a rien à voir à ce problème de chimie. (...) Dans nos classes élémentaires, le pittoresque et les images exercent les mêmes ravages.* » (1938, p. 36-38). Le recours au concret, si prisé, peut ici entraîner une adhésion qui renforce, par les constats qu'elle permet, des conceptions erronées, telle le magma ne provenant que d'une réserve liquide superficielle.

Pour réaliser un test similaire, mais en dehors de l'enseignement scientifique, nous avons introduit, dans ces mêmes classes, un autre post-test (n°4bis), différent mais logiquement équivalent au test n°4. Mais le texte de présentation et le questionnement associé n'ont été présentés ni comme un test, ni en séance de sciences, mais lors d'une séance d'une autre discipline (Histoire-Géographie), dans un document intitulé « Protection solaire » et annonçant : « Les beaux jours approchent, etc. » (voir ci-dessous).


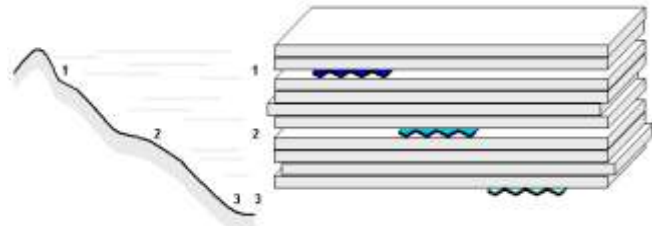
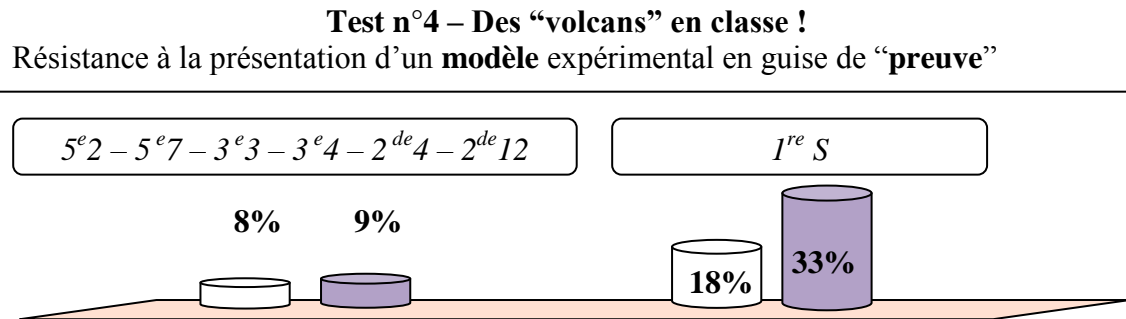
PROTECTION SOLAIRE	
	Les beaux jours approchent : amateurs de bronzage, le soleil comporte des dangers ! Analysons le travail accompli par un élève l'été dernier :
Raphaël, qui sait que les rayons ultraviolets (UV) venant du soleil sont dangereux pour la peau, a voulu démontrer que le risque était plus grand en montagne parce que l'atmosphère, qui absorbe les UV, y est moins épaisse. En plaine, les rayons UV traversent davantage d'air, ce qui les filtre plus. Pour le prouver, il a utilisé du "papier UV", papier spécial qui devient bleu quand il reçoit des UV, et il a construit un modèle de montagne avec des plaques de verre empilées (des lames de microscope). L'épaisseur du verre correspond à l'épaisseur de l'air. Raphaël a placé du papier UV sous différentes épaisseurs de verre, qui simulaient différentes altitudes en montagne, et exposé son modèle 30 minutes au soleil : plus l'épaisseur de verre était grande, moins d'UV sont passés (le papier 1 sous deux plaques de verre est devenu bleu foncé, le 2 (sous 6 plaques), bleu moyen et le 3 (sous 10 plaques), bleu clair).	
	Voici ce qu'a écrit Raphaël en conclusion : « Grâce à mon expérience, je peux dire que l'air de l'atmosphère agit comme un filtre : plus la couche d'air traversée est épaisse, moins on reçoit d'UV. »
Que penses-tu de la conclusion de Raphaël ?	

Figure 9. Test n°4bis : Le danger des UV.

Un élève contestant cette conclusion écrit : « *Il ne peut pas conclure cela car les lames de microscope n'ont pas les mêmes propriétés que l'atmosphère, ou en tout cas ce n'est pas démontré.* » (2^{de}12). Dans ce cas, on retrouve encore chez ces élèves la même proportion de réfractaires (10%), mais ils ne sont plus que 61% à accepter clairement la conclusion avancée.

Il semble, en comparant ces deux résultats, qu'il soit très difficile aux élèves de rejeter une conclusion lorsqu'elle est présentée avec l'appui d'un modèle accompagné d'une manipulation, si on est en cours de sciences, ce refus semblant un peu moins difficile hors de ce contexte.

Cette limite ayant été détectée jusqu'en classe de seconde, nous avons tenté de déterminer ce qu'il en était avec quatre classes de 1^{re}S :



Les résultats en pré-test sont sensiblement différents de ceux obtenus jusqu'au niveau seconde : 18% des 116 élèves de 1^{re}S repoussent, d'une manière justifiée, la conclusion formulée (mais 78% acquiescent). La différence en post-test est encore plus sensible : 33% des élèves contestent la conclusion, et le taux de ceux qui l'admettent tombe à 45%.

Il ne s'agit là que d'une tendance apparente, qui suggère un dépassement en 1^{re}S de la limite atteinte en seconde concernant le scepticisme face à une affirmation, même appuyée par une “expérience”, tendance que seuls des travaux ultérieurs pourraient, ou non, corroborer.

Les limites atteintes pour les tests n°3 et 4 (jusqu'en seconde) s'expliquent au moins en partie par la force des conceptions des élèves, augmentée, pour le test n°4, par la présentation professorale dans le cadre scolaire et avec un objectif bien lisible. Ces tests montrent une résistance à une approche implicite de la nature de la science : leur reproduction accompagnée d'un travail réflexif explicite, tel que prônée par Lederman, sur certaines des caractéristiques de la science comme la remise en cause potentielle de toute opinion et la nécessité d'une confrontation au réel et non à un modèle, permettrait d'évaluer quels gains supplémentaires, en termes de compréhension des processus établissant le savoir, sont possibles par cette voie. Cet aspect peut expliquer les résultats meilleurs en 1^{re} S si, dans la filière scientifique, les enseignants s'arrêtent de temps en temps à des remarques sur la nature de la science, à des élèves par ailleurs plus âgés.

Notre recherche tend également à montrer que le travail sur les opinions des élèves, lorsqu'on les sollicite pour engendrer des hypothèses qui se retrouvent réfutées ou confortées, peut constituer un tremplin à la fois vers le savoir et vers l'acquisition des composantes majeures de l'esprit scientifique que sont l'esprit créatif et l'esprit de contrôle. Ainsi peuvent-ils progressivement saisir, en classe, que la science progresse généralement en avançant d'abord des opinions incertaines, pour mieux en scruter le degré de fausseté.

Une étude indépendante de la nôtre (Noverraz *et al.*, 2006), portant sur les conceptions épistémologiques des élèves, a adapté notre approche à une autre discipline scientifique (physique-chimie), dans un autre système éducatif (en Suisse), en respectant les principes d'utilisation de l'outil DiPHTeRIC. Ses auteurs, formateurs de deux HEP (*hautes écoles pédagogiques*, HEP-Vaud et HEP-Berne-Jura-Neuchâtel) concluent que les élèves ont réalisé des apprentissages de nature méthodologique particuliers, notamment concernant la manière

de se prémunir de l'influence de l'opinion d'autrui, aspect qui recoupe certains de nos propres résultats (lien fourni en bibliographie).

Terminons en revenant à l'épistémologie : Newton, en condamnant au début du XVIII^e siècle l'usage des hypothèses, a rendu déserte, pendant près de deux siècles, la voie de la libre expression des opinions et des idées audacieuses, suivie de leur contrôle, qu'explorèrent en pionniers les *Empiriques* grecs. Le flambeau des conjectures et des "possibles" à éprouver a depuis été relevé par Chevreul, Claude Bernard puis les scientifiques modernes qui ont suivi Popper, d'Einstein à François Jacob. Mais le monde de l'enseignement, lui, semble, de ce point de vue, rester au bord du chemin.

Stengers (1988, p. 10) caractérise cette rémission dans le champ des sciences en disant que l'empirisme y est "un cheval mort" et que désormais « *les idées hardies, libres, inventives, mènent les sciences, organisent les expériences* », pratiques qui rendent les opinions vulnérables. Ce jugement ne saurait s'appliquer à l'enseignement des sciences : où y déceler des idées hardies, libres et inventives, qui mèneraient les séances de sciences, organiseraient leurs expériences ? Si le cheval de l'empirisme est mort dans la recherche scientifique, il caracole encore dans les classes.

Si l'histoire des siècles ne peut se refaire, celle de la classe se refait tous les jours : les réflexions et recommandations très claires sur ce point des didacticiens, dans le sillage de Dewey, en montrent la voie. Socrate, déjà, s'y tenait ; écoutons-le, pour finir, encourager, pour l'éducation de la jeunesse, l'expression et l'examen de leurs opinions :

THÉÉTÈTE - Vraiment, Socrate, ainsi encouragé par toi, on aurait honte de ne pas faire tous ses efforts pour dire ce qu'on a dans l'esprit. (...).

SOCRATE - C'est bien et bravement répondu, mon enfant : c'est ainsi qu'il faut déclarer ce qu'on pense. Mais allons maintenant, examinons en commun si ta conception est viable ou si elle n'est que du vent.

(Platon, *Théétète* ou *sur la Science*, 151e)

Jean-Yves Cariou

Laboratoire de didactique et d'épistémologie des sciences, Université de Genève
IUFM de Paris – Université Sorbonne-Paris IV

BIBLIOGRAPHIE

ASTOLFI J.-P., GIORDAN A. (COORD.), GOHAU G., HOST V., MARTINAND J.-L., RUMELHARD G., ZADOUNAÏSKY G. (1978). *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?* Paris : PUF.

ASTOLFI J.-P. (1990). L'émergence de la didactique de la biologie, un itinéraire. *Aster* n° 11, p. 195-224.

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

BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin, 1993.

BACON F. (1620). *Novum Organum*. Paris : PUF, 1986.

BACON R. (1267). *Opus Majus*. Part. 1 et 2. Whitefish, Montana: Kessinger Publishing, 2002.

BALACHEFF N. (1988). Le contrat et la coutume, deux registres des interactions didactiques. In C. Laborde (éd.). *Premier Colloque Franco-Allemand de Didactique des Mathématiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

BERNARD C. (1850-60) *Le cahier rouge*. Paris : NRF Gallimard, 1942.

BERNARD C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Garnier-Flammarion, 1966.

- BOMCHIL S. & DARLEY B. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ?. *Aster* n°26, p. 85-108.
- CANGUILHEM G. (1941-42). *Leçons sur la méthode*. In P. Bourdieu, J.-C. Passeron & J.-C. Chamboredon (1968). *Le métier de sociologue : préalables épistémologiques*. Berlin-New York : Mouton de Gruyter, 2005, p. 267-272.
- CHINN C. A. & MALHOTRA B. A. (2002). Epistemologically authentic reasoning in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education* n°86, p. 175-218.
- CLOUGH M. P. (2002). Using The Laboratory To Enhance Student Learning. In R. W. Bybee (ed.). *Learning Science and the Science of Learning*, NSTApress, 2002, p. 85-96.
- DARWIN F. (1887). *The life and letters of Charles Darwin, including an autobiographical chapter*. London: John Murray, t. III.
- DESCARTES R. (1637). *Discours de la Méthode*. Paris : GF-Flammarion, 2000.
- DEVELAY M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster* n°8, p. 1-15.
- DEWEY J. (1909). *Comment nous pensons*. Paris : Les empêcheurs de penser en rond, 2004.
- DRIVER R., NEWTON P., & OSBORNE J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education* n°84(3), p. 287-312.
- FILLON P. & MONCHAMP A. (1995). *Articulation Troisième-Secondaire*. Projet de rapport de recherche INRP, volet Sciences physiques et biologiques (non publié).
- GALIEN [1998]. *Traité philosophiques et logiques*. Paris : Flammarion.
- GILBERT W. (1600). *De Magnete*. New York: Dover, 1991.
- GIL-PÉREZ D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster* n°17, p. 41-64.
- GIORDAN A. & DE VECCHI G. (1987). *Les origines du savoir*. Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- GIORDAN A. (1998). *Apprendre !* Paris : Belin.
- GIORDAN A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris : Belin.
- GOFFARD N. (2003). Les activités expérimentales : un état des lieux. In C. Larcher et N. Goffard, éd. *L'expérimental dans la classe*. Paris : INRP, 2003, p. 9-19.
- GOHAU G. (2002). Redécouverte d'hier et d'aujourd'hui. In N. Hulin (éd.). *Sciences naturelles et formation de l'esprit. Autour de la réforme de l'enseignement de 1902*. Villeneuve-d'Ascq : Presses Universitaires du Septentrion.
- HOFSTEIN A. & LUNETTA V. N. (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, vol. 88, n°1, p. 28-54.
- HOFSTEIN A. KIPNIS M. & KIND P. (2008). Learning in and from Science Laboratories: Enhancing Students' Meta-cognition and Argumentation Skills. In Petroselli, C. L. (ed., 2008). *Science education issues and developments*. New York: Nova Science, Inc., p. 59-94.
- JACOB F. (1981). *Le jeu des possibles*. Paris : Fayard.
- LEDERMAN N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, n°29(4), p. 331-359.
- LEDERMAN N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present, and Future. In Abell, S. K. and Lederman, N. G. (eds.). *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates, p. 831-880.
- LUNETTA, V.N., HOFSTEIN, A. & CLOUGH, M.P. (2007). Learning and Teaching in the School Science Laboratory: An Analysis of Research, Theory and Practice. in S.K. Abell & N.G.

- Lederman (Eds.). *Handbook of Research on Science Education*. Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey. p. 393-441.
- MEDAWAR P. B. (1972). *The Hope of Progress*. Londres : Methuen & Co Ltd.
- MILLAR R. & OSBORNE J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. King's College London, School of Education.
- MONCHAMP A. (1993). Biologie. In J. Colomb (dir., 1993). *Les enseignements en Troisième et en Seconde, ruptures et continuités*, Paris : INRP.
- NOVERRAZ J.-C. PARISOD J.-M. & CHABLOZ B. (2006). L'idée de science chez des écoliers du secondaire en lien avec l'enseignement reçu. *Formations et pratiques d'enseignement en questions* n°4, p. 305-334. Disponible sur Internet : <http://www.ldes.unige.ch/reds/partenaire/novverraz/rechEpist2006.pdf> (consulté le 10 septembre 2009).
- ORANGE C., (2002). L'expérimentation n'est pas la science. *Cahiers pédagogiques* n°409, décembre 2002, p. 19-20.
- ORLANDI E. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster* n°13, p. 111-132.
- POPPER K. (1934). *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot, 1989.
- POPPER K. (1979). *La connaissance objective*. Paris : Flammarion.
- RICŒUR P. (1975). Article *Croyance* dans *Encyclopædia Universalis*, vol. 5, Paris.
- ROBARDET G. & GUILLAUD J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : PUF.
- ROHAULT J. (1671). *Traité de physique*. Paris : Veuve de J.-B. Guillimin, 1696.
- RUMELHARD G. (2000). Sciences de la vie, philosophie, sciences humaines. *Aster* n°30, p. 169-192.
- SADLER T. D., CHAMBERS F. W. & ZEDLER D.L. (2004), Student conceptualizations of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, n°26(4), p. 387-409.
- STENGERS I. & SCHLANGER J. (1988). *Les concepts scientifiques*, Gallimard, 1991.
- STENGERS I. (1993). *L'invention des sciences modernes*. Paris : Flammarion, 1995.
- WEISS I.R., PASLEY J.D., SMITH P.S., BANILOWER E.R. & HECK D.J. (2003). *Looking inside the classroom: A study of K-12 mathematics and science education in the United States*. Chapel Hill, NC: Horizon Research, INC.