

# Enseigner les sciences physiques avec de jeunes élèves

## *Quelle épistémologie pour quelle démarche ?*

par A. LAUGIER et A. DUMON

IUFM d'Aquitaine

Laboratoire de Didactique et de Communication Pédagogique

Université de Pau

---

### **RÉSUMÉ**

*Depuis plus d'un siècle, l'enseignement scientifique avec de jeunes élèves s'est construit en référence à la fois, à des attentes de la société, à des conceptions sur l'apprentissage et à des idées a priori sur le fonctionnement de la science. Cet article propose, à partir de l'étude de l'enseignement scientifique à l'école élémentaire, une analyse des fondements épistémologiques et didactiques susceptibles de justifier des choix d'enseignement. A partir de situations prises à l'école, quelques pistes de réflexion sur des pratiques d'enseignement, sont analysées. En conclusion, un tableau synoptique d'une démarche d'apprentissage possible est proposé.*

Le profond mouvement de rénovation de l'enseignement des sciences physiques, entrepris au lycée avec les programmes de 1992, qui s'inscrit aujourd'hui, dans la logique de la rénovation du collège a également concerné l'école élémentaire. La réflexion sur ces programmes se caractérise par un déplacement d'une culture des savoirs disciplinaires vers une culture des démarches d'apprentissage. C'est un choix que la spécificité de son public, comme la polyvalence de ses enseignants, a imposé très tôt à l'enseignement scientifique avec de jeunes élèves.

### **1. QUEL HÉRITAGE POUR LES SCIENCES À L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE AUJOURD'HUI ?**

Un programme d'enseignement, avec ses objectifs et ses contenus, est le résultat de la transposition, par l'institution scolaire, d'une demande de la société : «*Quelle Éducation scientifique pour quelle société ?*» (Astofi et al. 1978). Cette question n'est pas nouvelle, c'est celle que posait déjà Mme Pape-Carpentier dans ses conférences sur

les leçons de choses en 1867 et à laquelle les programmes de 1995 tentent une nouvelle fois de répondre.

### 1.1. Le contexte social

Aux débuts de l'enseignement scientifique, c'est-à-dire dans les années 1860-1870, les choses sont relativement simples. L'enseignement des sciences doit fournir, à tout Français, des connaissances - outils directement utilisables par les adultes dans leur vie personnelle et professionnelle : fonctionnement des appareils de chauffage, sécurité des installations électriques, règles d'hygiène, etc. Cet enseignement se dote alors d'une doctrine qui va marquer pendant presque un siècle des générations d'écoliers... et de parents : les **leçons de choses** se proposent d'apprendre à **lire** dans le monde visible, par l'observation, l'évidence des relations qui lient entre eux les objets et les phénomènes.

A partir des années 1960-1970, des travaux sur la façon dont un enfant apprend (Piaget, Wallon) montrent l'importance de l'activité de l'élève dans la construction de son savoir. Puisque l'élève doit agir pour apprendre, à la demande initiale de l'institution, vient s'ajouter le souci d'apprendre aux élèves à pratiquer la démarche expérimentale, telle qu'elle est censée être mise en œuvre par les scientifiques dans leurs laboratoires. En 1969 les leçons de choses laissent alors la place aux **activités d'éveil**.

Ce déplacement d'une culture des choses et de leurs usages vers une culture des démarches appliquées à la connaissance des phénomènes, sans que le savoir de référence soit toujours nettement identifié a attiré les critiques de ceux qui pensent qu'un enseignement scientifique n'a pas sa place à l'école élémentaire (Despin et Bartholy, 1983) et découragé les enseignants par la difficulté de mise en œuvre de ce type d'activité.

Aussi en 1985, les programmes reviennent à une vision plus traditionnelle, avec des contenus disciplinaires nettement affirmés.

Dix ans plus tard, l'Institution constate que la pratique dans les classes de l'école ne suit pas. Dans le même temps une tâche supplémentaire est assignée à l'enseignement scientifique à l'école : cet enseignement doit «*susciter une réflexion sur l'éthique, la justice, le sens moral de nos actes et de nos découvertes*» (*La main à la pâte*, 1997). Cette préoccupation nouvelle se retrouve également au collège et au lycée. Il s'agit de préparer les élèves, futurs citoyens, à participer d'une manière raisonnée «*aux choix politiques, économiques, sociaux, voire d'éthique*» que notre société devra effectuer dès le début du prochain millénaire.

Or, cette demande s'exerce aujourd'hui dans un contexte de crise de l'enseignement scientifique. Périodiquement, des enquêtes viennent nous rappeler que, en France, l'enseignement des sciences n'atteint pas son but<sup>1 2</sup>. Une enquête internationale récente<sup>3</sup> qui concerne l'enseignement des sciences, porte sur trois cent mille élèves de douze-treize ans appartenant à quarante-et-un pays. La France y occupe la vingt-huitième place seulement en ce qui concerne la maîtrise des concepts scientifiques élémentaires et la dernière place en ce qui concerne le pourcentage d'élèves dont les professeurs font appel à l'esprit créatif.

Depuis une dizaine d'années des scientifiques de renom (Pierre-Gilles de GENNES, Georges CHARPAK) sont régulièrement convoqués au chevet de cet enseignement scientifique, pour donner leur avis sur la question, et proposer des solutions (BO du 12 mars 1996).

### 1.2. Le contexte institutionnel des programmes de 1995

En 1995 les nouveaux programmes pour l'enseignement scientifique et technologique à l'école sont proposés aux enseignants, avec l'ambition de réussir enfin la synthèse entre les exigences sociales d'un enseignement scientifique à l'école élémentaire, les données de la recherche en didactique des sciences, les apports de la psychologie cognitive, et... la motivation des enseignants.

Dans le projet de cet enseignement, héritier d'un siècle de pratiques, nous retrouvons les strates déposées par les instructions précédentes :

*L'enseignement scientifique est une initiation à la démarche expérimentale au service d'une culture générale ouverte à la connaissance scientifique (BO du 9 mars 1995).*

Ces nouveaux programmes se caractérisent par l'abandon de toutes références disciplinaires (biologie, physique, technologie), et leur remplacement par des thèmes d'activités «Découvrir le monde» au cycle 1, puis «Découverte du monde» au cycle 2.

Cet abandon d'une définition des programmes en termes de contenus disciplinaires, correspond à une nécessité, enfin prise en compte.

1. En 1992, numéro spécial de Science et Vie intitulé «*Les sciences à l'école : les raisons d'un malaise*».
2. En 1995, enquête sur «*La place de l'expérimental dans l'enseignement du second degré*» - Direction des Lycées et Collèges (DLC).
3. Troisième étude internationale sur l'enseignement des mathématiques et des sciences, menée sous l'égide de l'AIE (Association Internationale pour l'Évaluation du rendement scolaire), publiée dans Sciences et Avenir de février 1996.

Les jeunes enfants ont une perception globale des phénomènes qu'ils découvrent et il existe un décalage important, entre leurs préoccupations face à un phénomène et les questionnements disciplinaires sur ce phénomène.

Un des premiers objectifs de l'éducation scientifique avec les jeunes enfants va être de leur apprendre à changer de point de vue, à regarder autrement les phénomènes et les objets qui les entourent, pour y apercevoir autre chose. Cette capacité à adopter des points de vue différents se traduit dans le curriculum par la construction progressive de grilles de lectures disciplinaires des phénomènes.

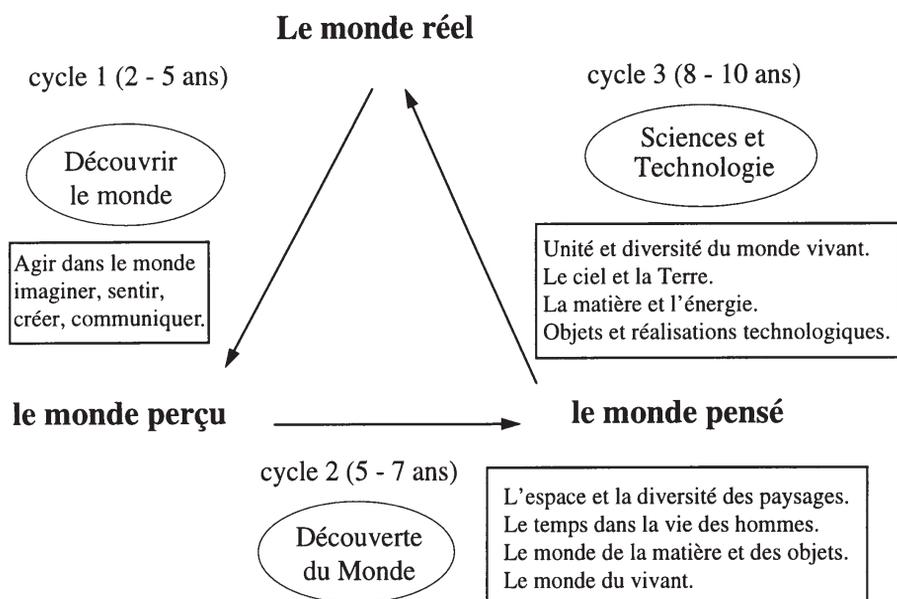


Figure 1

- Au cycle 1, dans le programme, les activités sont désignées sous forme de verbes d'action (agir, découvrir, imaginer, sentir, communiquer). «Découvrir le monde» est une exploration de l'environnement immédiat, sans souci d'exhaustivité (l'eau, l'air, les couleurs, les objets, le vivant, l'espace, le temps...). La finalité de l'activité scientifique au cycle 1 est d'amener les enfants à éprouver des perceptions à travers des situations d'action sur la matière, pour construire des représentations de ces situations et ensuite se donner les moyens de les communiquer : c'est le rôle de la verbalisation, d'où

l'importance des activités langagières, du dessin, du texte dicté à l'adulte (voir en fin d'article l'exemple d'activité proposé à des enfants de cinq ans).

- Au cycle 2, «Découverte du monde» va permettre d'organiser d'une façon plus méthodique ces perceptions. Dans les Instructions Officielles les verbes d'action sont maintenant remplacés par des «points de vue» sur le monde. Peu à peu les élèves vont apprendre à questionner les phénomènes, non plus d'une façon globale, mais en choisissant un point de vue. Par exemple le thème «il fait froid» permet un questionnement différent suivant qu'on l'examine du point de vue du monde de la matière, de celui des objets, du monde du vivant ou de la vie des hommes. Des connaissances formulables en termes de savoir seront construites (l'eau existe sous différents états, le thermomètre permet de repérer une température, ...).
- Au cycle 3, ces points de vue vont se préciser, pour déboucher sur des formulations de problèmes qui s'inscrivent dans des préoccupations disciplinaires : «*La vitesse de fusion d'un glaçon dépend-elle de la nature du matériau sur lequel il est posé ?*», «*Sur une bicyclette est-il plus facile ou plus difficile de pédaler quand les ampoules sont allumées ?*». Il s'agit là de formulations proches de celles qui pourront être construites, en classe, dans les premières années du collège.

En résumé, dans ces nouveaux programmes de 1995, l'idée de discipline n'est plus imposée *a priori* par l'enseignant à l'élève à travers une observation dirigée, mais progressivement construite par celui-ci, sur l'ensemble des trois cycles, à travers l'élaboration de grilles de lectures des phénomènes.

### 1.3. Le contexte épistémologique

Lorsque un enseignant prépare une séquence d'enseignement en sciences, quand il s'agit de prendre des décisions d'ordre pédagogique ou d'ordre didactique, celui-ci le fait toujours par référence à des idées *a priori* : idées sur la façon dont un élève apprend, la façon dont les connaissances se construisent, en classe, mais aussi dans les laboratoires de sciences. C'est l'ensemble de ces idées, pas toujours explicitées, qui constitue ce que nous appelons son épistémologie intime et que nous nous proposons maintenant de questionner.

Depuis les débuts de l'enseignement scientifique, celui-ci repose sur un certain nombre de postulats qui fonctionnent souvent sur le mode de l'évidence et que les Instructions Officielles rappellent régulièrement (BO de mars 1996).

L'enseignement scientifique est en crise, mais son salut réside dans un recours systématique à l'expérimental : «*la physique, science expérimentale par excellence, doit*

voir son enseignement s'appuyer sans cesse sur l'observation des faits et des phénomènes, on doit privilégier la méthode inductive et le recours systématique à l'expérience» (rapport Bergé, 1989).

De plus, ce recours à l'expérimental est souvent confondu avec un apprentissage de la démarche expérimentale : l'élève doit être capable de «*proposer la mise en œuvre des étapes caractéristiques de la démarche expérimentale*<sup>4</sup>».

Lorsque nous demandons aux professeurs-stagiaires de l'IUFM, de préciser ce que cette expression évoque pour eux, cette démarche expérimentale est alors présentée sous la forme d'une méthode, souvent attribuée à Claude Bernard, et qui reposerait sur des étapes parfaitement codifiées à travers le schéma OHERIC (Observation - Hypothèse - Expérimentation - Résultats - Interprétation - Conclusion).

Dans cette méthode, l'observation des phénomènes permet de passer du monde perçu au monde pensé. C'est l'observation répétée d'un grand nombre de faits, qui induit chez le scientifique l'idée qui le conduira à l'hypothèse : c'est Newton ayant l'intuition de la loi de l'attraction universelle en observant la chute d'une pomme ou Galilée «découvrant» la périodicité des oscillations du pendule en observant celles du lustre de la cathédrale de Pise. Ensuite, l'expérience permet de «vérifier la théorie». Dans cette méthode expérimentale, si les résultats de l'expérience ne vérifient pas la théorie, celle-ci est abandonnée.

C'est sur ce schéma que les célèbres leçons de choses étaient fondées épistémologiquement : «*Ce n'est rien d'autre qu'une accumulation d'observations pertinentes, dont la récurrence fonde progressivement le matériau empirique dont pourra naître la claire conscience d'une relation de cause à effet ou d'une loi*» («*La main à la pâte*», 1997).

Ainsi, dès ses origines, l'enseignement scientifique met l'accent sur la première étape de la démarche expérimentale : l'observation. Qu'il s'agisse de l'observation d'un objet («*pas de leçon de chose sans la chose*» Instructions Officielles de 1923), ou de celle d'un phénomène, l'élève doit recueillir les informations «*tombant sous les sens*». A terme, cette pratique de la démarche expérimentale est censée permettre à l'élève de valider ses connaissances, comme le chercheur dans son laboratoire valide ses hypothèses.

4. Ministère de l'Éducation Nationale «*Les cycles à l'école primaire*», Hachette éducation, Paris (1991).

C'est cette épistémologie que nous nous proposons maintenant d'interroger, qu'il s'agisse de la méthode expérimentale, ou du lien entre les théories scientifiques et l'expérience, sachant que cette épistémologie aura des répercussions sur les modes d'activités didactiques retenus en classe de sciences.

## 2. QUEL CADRE THÉORIQUE POUR PENSER L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE ?

Répondre à cette question impose de prendre des hypothèses sur la façon dont les connaissances se construisent en classe (composante didactique) et hors de la classe (composante épistémologique).

### 2.1. Des hypothèses sur la construction des connaissances scientifiques.

#### Un point de vue contemporain sur la science

La question qui est posée est celle que pose Chalmers dans son ouvrage «*Qu'est ce que la science ?*». Celle-ci est-elle œuvre de découverte où bien œuvre d'invention ? La science avance-t-elle d'une manière cumulative, chaque découverte, faite et vérifiée grâce à la méthode expérimentale, venant enrichir la collection des savoirs disponibles ? Il s'agit là du schéma traditionnel, retenu pour le fonctionnement de la science et transposé à l'enseignement depuis ses origines.

Or, depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, les réflexions des épistémologues (Carnap, 1952) ont largement contribué à renouveler la vision de la science héritée du positivisme logique de Auguste Comte. En 1985, l'académicien R. Thom, dans un article provocateur s'interrogeait : «*La méthode expérimentale : un mythe des épistémologues, et des savants ?*». Ce qu'il remettait en cause c'est l'idée de l'existence même d'une méthode expérimentale. Dans l'expression de *méthode expérimentale* R. Thom voit un oxymoron en ce sens que l'expérimental suppose une part d'incertitude, de tâtonnement, voire de hasard qui s'oppose de ce fait à l'idée d'un parcours, figé *a priori* dans une «méthode». C'est ce que le chimiste J. Jacques, signifiait avec humour quand, dans son ouvrage *confessions d'un chimiste ordinaire*, il qualifiait la chimie de «*science des objets trouvés*» et s'interrogeait pour savoir «*combien de prix de Nobel sont partis dans le lavabo ?*».

Aujourd'hui, cette *méthode expérimentale* apparaît davantage comme une reconstruction *a posteriori* d'une démarche du scientifique, lorsque celui-ci est amené à communiquer le résultat de ses travaux. Les principales critiques qui lui sont faites concernent, en premier lieu, la neutralité supposée de l'observation, censée être la source de l'intuition géniale du savant.

### 2.1.1. L'observation n'est pas objective

Ce que l'épistémologie contemporaine remet en cause c'est l'idée de l'existence d'une base observationnelle, strictement indépendante de toute théorie, alors que l'observation est directement guidée par les hypothèses faites *a priori* par le chercheur, même si celui-ci n'en est pas toujours conscient. L'histoire des sciences à laquelle les instructions officielles nous demandent de recourir pour «*illustrer le cours et faire appel à la dimension historique de l'évolution des idées*» fourmille d'exemples à ce sujet.

- *On ne voit pas ce qui est inconcevable même si le fait existe réellement*

Le 4 juillet 1054, la supernova de la nébuleuse du Crabe est observée par les Chinois et les civilisations précolombiennes, l'Europe n'en a laissé aucun témoignage. Le 11 novembre 1572 une autre supernova se produit, elle est observée par Tycho Brahé et bien d'autres. Bruno Jarosson qui rapporte cet exemple, explique qu'en 1054, l'Europe se situait dans le paradigme<sup>5</sup> aristotélicien dans lequel les cieux, constitués par le cinquième élément, l'éther, étaient immuables. Il était impossible qu'un changement puisse s'y produire, et l'observation d'une supernova inconcevable, ce qui n'était pas le cas pour les Chinois ou les civilisations précolombiennes qui se situaient en dehors de ce paradigme. En 1572, Copernic avec son ouvrage sur la *révolution des orbés célestes* avait sérieusement écorné le paradigme aristotélicien. L'observation des astronomes européens était maintenant guidée par la recherche de phénomènes attestant que le ciel n'était effectivement pas immuable et permettant de conforter le nouveau paradigme que Kepler puis Galilée était en train de construire.

- *On voit ce qu'on s'attend à voir indépendamment de l'existence réelle du fait*

La physique française se souvient encore de la mésaventure du professeur Blondot, chercheur renommé de l'université de Nancy et «découvreur» des rayons N en 1903. Lors d'une expérience contradictoire en présence du scientifique américain Wood, le malheureux professeur continua à «voir» la déviation des fameux rayons et à en mesurer les caractéristiques, alors que le prisme censé provoquer cette déviation avait été subrepticement retiré par le scientifique américain ! On imagine la confusion du respectable professeur Blondot.

---

5. *Paradigme* : ce mot, introduit par Thomas KHUN dans son livre «la structure des révolutions scientifiques», désigne, pour une époque déterminée, à la fois l'ensemble des théories et des axiomes acceptés par la communauté scientifique ainsi que le champ d'activités de la science normale.

Ces deux exemples ne sont pas isolés, les travaux d'histoire des sciences l'attestent et nous devons nous poser la question : les élèves ont-ils un comportement différent lorsqu'ils observent une expérience ?

Dans des travaux antérieurs nous avons pu mettre en évidence des corrélations entre ce que l'élève s'attend à voir avant l'expérience et ce qu'il déclare voir pendant l'expérience (ASTER n°16, INRP 1993). Lors de la mise en scène et de l'exploitation de l'expérience en classe, l'enseignant devra s'en souvenir et mettre en place des situations de remédiation adaptées.

### 2.1.2. La théorie ne peut pas être induite par l'observation

Si ce que «voit» le chercheur est conditionné par ce qu'il s'attend à voir, inversement l'observation d'un événement ne pourra pas lui donner l'idée de la théorie qui transformerait cet événement en fait scientifique. Comme le souligne Goblot dans son *Traité de logique*, « les données de l'expérience ne sont données qu'autant qu'elles sont saisies ». Il ne suffit pas d'observer pour voir.

Dans le cas de Newton, Paul Valéry remarquait que le lien entre d'une part, l'observation des mouvements de la pomme et de la Lune, et d'autre part, l'idée de la loi de la gravitation universelle, n'était pas aussi évident que ce que Newton lui-même l'avait laissé entendre : « Il fallait être Newton pour apercevoir que la Lune tombe sur la Terre, quand chacun voit qu'elle ne tombe pas ». La Lune en mouvement dans le ciel, la pomme qui tombe sont des objets du réel que tout le monde peut voir, mais qui ne portent pas de signification en eux-mêmes. Leur chute sous l'action de la gravitation est une idée avant d'être un fait. Et c'est Newton qui la construira en tant que fait scientifique.

Dans ces conditions, contrairement à ce que suggère le schéma OHERIC de la méthode expérimentale, le fait scientifique n'existe pas indépendamment de l'observateur et n'est pas une donnée immédiate de l'observation.

### 2.1.3. Origine des théories

Alors se pose la question, quelle est l'origine de la théorie, si celle-ci n'est plus induite par l'observation ?

Pour Einstein la réponse est très nette. Dans son ouvrage « *L'évolution des idées en physique* », il compare le physicien à un horloger « Les concepts physiques sont des créations libres de l'esprit humain et ne sont pas comme on pourrait le croire uniquement déterminés par le monde extérieur. Dans l'effort que nous faisons pour comprendre le monde, nous ressemblons quelque peu à l'homme qui essaie de comprendre le

*mécanisme d'une montre fermée. Il voit le cadran et les aiguilles en mouvement, il entend le tic-tac, mais il n'a aucun moyen d'ouvrir le boîtier. S'il est ingénieux il pourra se former quelque image du mécanisme, qu'il rendra responsable de tout ce qu'il observe, mais il ne sera jamais sûr que son image soit la seule capable d'expliquer ses observations. Il ne sera jamais en état de comparer son image avec le mécanisme réel, et il ne peut même pas se représenter la possibilité ou la signification d'une telle comparaison».*

Dans ces conditions *«Les concepts et théories doivent être librement inventés. Il n'y a pas de pont logique entre les phénomènes et les principes chargés de les expliquer».*

Déconnecter ainsi l'origine des théories, de l'observation des faits, a une grande signification épistémologique. A l'idée d'une science œuvre de découverte s'est ainsi substituée l'idée d'une science œuvre d'invention.

#### 2.1.4. La validation des théories

- Une théorie garde toujours un caractère hypothétique

Contrairement au schéma de la méthode expérimentale, l'expérience conforme aux prédictions d'une théorie ne signifie pas que celle-ci est vraie. Pour l'épistémologue Karl Popper, elle nous donne simplement le droit de continuer à croire qu'elle l'est ! Celle-ci garde toujours un caractère hypothétique et révisable. *«Les théories scientifiques, si elles ne sont pas falsifiées, restent toujours des hypothèses ou des conjectures».*

La seule certitude, le physicien la tire de la réfutation.

Lorsque, dans les anciens programmes, l'enseignant présentait l'expérience de la bougie allumée qui s'éteint quand on la coiffe d'un bocal, comme l'expérience cruciale prouvant que «la bougie a besoin d'air pour brûler», il oubliait que cette même expérience était invoquée au XVIII<sup>e</sup> siècle pour «vérifier» la théorie du phlogistique de Stahl, opposée à celle de l'oxydation. Pour Stahl, pendant sa combustion, la bougie comme tous les corps combustibles, perd son principe combustible, le phlogistique. Celui-ci, imprègne l'air du flacon qui s'imbibe de phlogistique comme une éponge s'imbibe d'eau. Quand tout l'air est imprégné de phlogistique, la combustion cesse. Il a tout de même fallu douze ans de controverses pour permettre à Lavoisier de convaincre ses contemporains du bien-fondé de sa théorie sur l'air et la combustion.

• Les théories scientifiques ne sont pas toujours en accord avec les faits

Thomas Kuhn, dans son ouvrage «*La structure des révolutions scientifiques*», a montré qu'il existe parfois des écarts entre la théorie et les faits qu'elle est chargée d'expliquer. Ce n'est pas pour autant que celle-ci est rejetée ou même critiquée. C'est surtout le cas lorsque l'expérience s'oppose au paradigme dominant. A ce moment-là elle n'est pas vécue comme une **réfutation** mais comme une **anomalie** que la théorie va devoir absorber en utilisant ce que Poincaré appelait des hypothèses *ad hoc*. Pour Kuhn il n'y a pas d'expérience cruciale lorsque celle-ci est susceptible de remettre ce paradigme en cause. A partir d'exemples puisés dans l'histoire des sciences, il montre comment la science se construit par crises et révolutions.

A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle plusieurs observations (rotation du périhélie de Mercure), ou expériences (expérience de Michelson Morley) ont remis en cause le paradigme newtonien d'espace et de temps absolu. Ce n'est pas pour autant que les scientifiques ont changé de théorie !

Lorsque la théorie de la relativité d'Einstein permettra, en changeant de paradigme, d'interpréter ces faits (relativité de l'espace et du temps), elle sera très mal accueillie. Pour Kuhn, le changement de paradigme est toujours très douloureux pour une communauté, la plupart des tenants de l'ancien paradigme refusant ou se révélant incapables de changer d'avis.

Il faudra s'en souvenir lorsque des élèves ne changeront pas d'avis après une expérience qui contredit leurs prévisions !

## 2.2. Des hypothèses sur l'apprentissage en sciences.

### 2.2.1. L'élève est au centre du processus d'apprentissage.

C'est ce que l'on désigne généralement sous le nom d'hypothèse constructiviste.

- Les travaux de Piaget ont montré comment l'enfant construit sa pensée à partir de l'action. Les structures de l'intelligence ne sont pas données une fois pour toutes à la naissance, mais font l'objet d'une construction progressive par interaction du sujet avec son environnement.
- Le modèle de l'enfant choisi par Piaget exerçait son activité intellectuelle sur un univers d'objets, dans un vide social et affectif, mais l'élève n'apprend pas tout seul. Il appartient à une communauté : la classe. Les recherches menées sur ce sujet ont justement montré l'importance des interactions sociales dans la classe, dans la construction des connaissances. Les travaux de l'école Genevoise, de Perret-Clermont en particulier, ont montré qu'il n'était pas indispensable qu'un des individus maîtrise une notion pour que celle-ci puisse être construite dans un groupe.

### 2.2.2. Toute connaissance est une réponse à une question.

Cette affirmation, formulée en 1938 par le philosophe Bachelard qui fut aussi, ne l'oublions pas, professeur de physique au collège de Bar-sur-Aube avant de passer l'agrégation de philosophie est toujours d'actualité.

*«Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit». L'enseignant ne devrait jamais se trouver dans la situation évoquée par Woody Allen «Quelqu'un dans la salle a-t-il des questions ? moi, j'ai des réponses !».*

La conséquence, pour Bachelard, est que,

*«avant tout il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui porte la marque d'un véritable esprit scientifique».*

Cette phase de construction du problème, souvent escamotée en classe, «pour ne pas perdre de temps», apparaît comme indispensable pour permettre à l'élève de s'investir effectivement dans sa résolution.

### 2.2.3. L'esprit de l'enfant n'est pas vierge de toute connaissance

Jusque dans les années 50, l'enfant était considéré comme «une cruche vide qu'il suffit de remplir», suivant en cela les idées du philosophe Condillac pour qui «l'enfant est une cire molle qu'il suffit d'imprimer».

Or, là encore, Bachelard a été parmi les premiers à remettre en cause cette idée d'un élève «vierge de toute connaissance». Dès 1938, dans *la formation de l'esprit scientifique* il écrivait en parlant des enseignants de physique :

*«Ils n'ont pas réfléchi au fait que l'adolescent arrive dans la classe de physique avec des connaissances empiriques déjà constituées : il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles amoncelés par la vie quotidienne».*

Tous les travaux de didactique ont confirmé cette idée de l'élève qui arrive en classe avec, dans la tête, des idées sur les phénomènes auxquels quotidiennement la vie le confronte.

Par exemple, au cours d'une activité sur la combustion de la bougie avec des élèves de CE2 (neuf ans) à laquelle nous assistions (*ASTER n° 18*, INRP 1994), la question s'est posée dans la classe de savoir si, une bougie étant placée sur le plateau d'une balance et l'équilibre réalisé, celui-ci se conserverait une fois la bougie allumée ?

Dans les réponses des élèves de CE2, deux conceptions prédominent :

- Ceux qui pensent que ce sera plus léger du côté de la bougie. Mais cette prédiction correcte du résultat de l'expérience est due à une conception erronée :

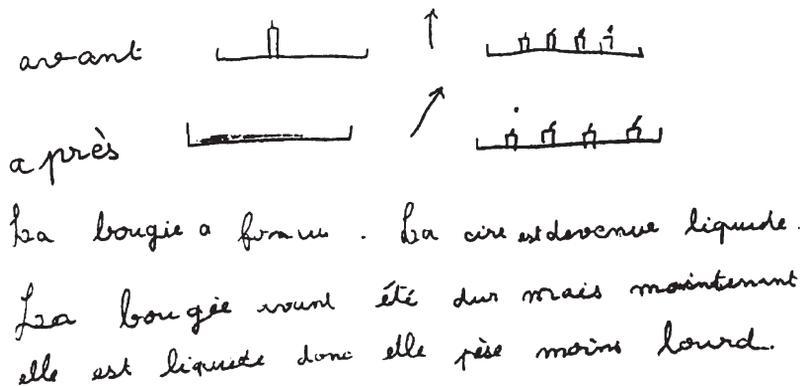


Figure 2

Nous retrouvons là une idée fréquente chez les jeunes enfants et déjà notée par Piaget, selon laquelle les corps à l'état liquide «pèsent moins» que les mêmes corps à l'état solide.

- Ceux qui pensent que l'équilibre sera conservé :

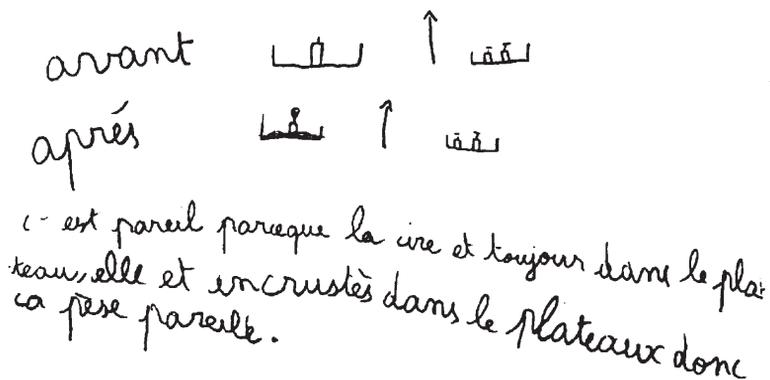


Figure 3

Pour ces élèves-là, l'évidence perceptive de la cire qui coule, l'emporte sur la non-perception de la consommation de l'air et d'une partie de la cire. La substance qui n'est pas perçue directement est ignorée.

Nous avons ensuite posé la même question, avec d'autres du même type, à des élèves de collège, de première S et des étudiants en DEUG sciences A et B. Nous avons alors constaté, chez ces élèves et étudiants, que près de 30 % d'entre eux pensent encore que l'équilibre est conservé, et la justification avancée est la même : la cire coule mais reste dans le plateau !

Ce résultat illustre la caractéristique importante de ces «connaissances empiriques déjà constituées» : non seulement leur apparition présente un caractère récurrent (pour un même phénomène, les mêmes conceptions se manifestent) mais ces conceptions initiales résistent au changement, et se manifestent encore après enseignement.

Ce dernier point doit interpeller tout enseignant de physique, si ces conceptions résistent à l'enseignement, celui-ci ne pourra les ignorer sous peine de les voir perdurer.

D'où la question comment les prendre en compte ? comment les faire évoluer ?

### 3. DES PROPOSITIONS POUR UNE PRATIQUE DES ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES

Nous ne pensons pas qu'il existe une voie royale pour enseigner les sciences, de «méthode pédagogique» permettant à tout coup de faire construire par les élèves une démarche expérimentale et en même temps acquérir des connaissances. Le scientifique dispose d'un outil, une démarche expérimentale, qu'il maîtrise (et encore, nous avons vu avec quelles difficultés) pour valider des connaissances. L'élève n'est pas dans une situation aussi favorable puisqu'il doit construire cet outil et qu'il ignore le plus souvent quelles sont les connaissances à valider.

Il s'agira donc de privilégier la diversité des approches, ce qui n'exclut pas la mise en œuvre de démarches spécifiques à l'enseignement scientifique.

### 3.1. L'attitude d'abord

Comme le souligne J.-P. ASTOLFI (Guide du maître, coll. Gulliver, Nathan), «*le bon chercheur, c'est celui qui sait reconnaître dans les résultats qu'il obtient autre chose que ce qu'il en attendait*». S'il est vrai qu'il n'y a pas d'acquisitions conceptuelles, indépendamment du développement d'attitudes scientifiques, le développement de telles attitudes constitue un objectif essentiel dès l'école maternelle.

- Favoriser le questionnement libre, développer l'aptitude à voir autre chose que ce que l'on a l'habitude de voir.
- Apprendre à changer son regard, à voir autrement (rappelons-nous le jugement de Valéry sur Newton).

Une telle attitude se combine avec d'autres, où se mêlent la curiosité et le goût de la recherche, l'esprit d'initiative et d'invention, le souci de coopération, etc.

### 3.2. Le temps du détour pour construire le problème

Faire des sciences, c'est se poser des questions, expérimenter, en clair se mettre dans la peau d'un chercheur. A la différence des mathématiques, l'activité scientifique ne se réduit pas à résoudre des problèmes, elle consiste d'abord à les poser. Le problème qui pourra faire l'objet d'une expérimentation doit être construit avec la classe, au cours de l'activité.

Par exemple, dans un cours moyen, l'enseignant envisage de faire travailler ses élèves sur le thème de l'énergie. Il leur propose d'abord, par petits groupes de trois ou quatre, de classer des documents illustrant, pour différentes époques, des transferts d'énergie au cours d'activités quotidiennes.

Au cours de la discussion collective qui permet de justifier les classements proposés, les élèves expriment leurs représentations de ce concept, si difficile à définir mais qui accompagne chacun de nos actes quotidiens (*quand on a bien mangé, on est plein d'énergie, quand on manque d'énergie on est fatigué, l'énergie c'est pour se chauffer, la pile contient de l'énergie, la centrale électrique sert à produire de l'énergie électrique, etc.*).

La question va alors se poser «comment produire de l'énergie électrique ?». Là encore, c'est de la discussion entre les élèves que viendra l'exemple de la bicyclette. Et ce n'est qu'après avoir manipulé, en classe, une bicyclette et son système d'éclairage, que la question qui fera l'objet de l'expérience finira par être posée : «est-il aussi difficile, ou plus facile, de pédaler quand les ampoules sont grillées que lorsqu'elles sont allumées ?».

Et, contrairement à leurs prévisions, ils constatent, en faisant l'expérience bicyclette retournée, qu'il est effectivement plus facile de pédaler lorsque les ampoules sont grillées : dans ce cas, l'énergie électrique n'étant pas consommée, son équivalent en énergie musculaire n'est pas fourni, même si l'alternateur tourne.

### 3.3. Partir du monde environnant pour faire émerger les représentations

La phase de construction du problème, dont nous venons de donner un exemple, s'est appuyée sur des documents (visuels ou textes) faisant référence, non à des situations artificielles, mais ancrées dans le quotidien, dans l'environnement proche des enfants. Lors de cette phase, les idées des élèves, leurs conceptions, leurs «*connaissances amoncelées par la vie quotidienne*» vont s'exprimer.

Ce qu'il y a de remarquable, c'est que ces conceptions des élèves ne sont pas toutes différentes d'un élève à l'autre. Pour une classe de phénomènes déterminée (les changements d'états, la nature du courant, de la lumière, la respiration, la digestion, etc.) il existe quelques «familles» de conceptions bien repérées aujourd'hui par les travaux de didactique.

Si l'enseignant n'y prend pas garde ces conceptions vont fonctionner comme des obstacles à la connaissance : au moment d'apprendre est déjà installé en chacun de nous (enfant ou adulte) tout un système de pensée que nous avons structuré, qui nous est «confortable» et auquel, au fond, nous avons des raisons de tenir.

De plus ces conceptions, même si elles sont, d'un point de vue scientifique, erronées, ont souvent leur domaine de validité. Elles fonctionnent et peuvent même permettre à l'élève de réussir. Avec des conceptions fausses on peut faire des prévisions justes sur le résultat d'une expérience (voir la situation de la bougie).

Or, la pensée scientifique que propose l'école vient en rupture avec cela, et cette rupture déstabilise.

Si on ne peut les ignorer, la tentation est grande de vouloir les éradiquer en les détruisant, de franchir l'obstacle en force. Or, si l'enseignant désigne l'obstacle à l'élève, celui-ci ne peut le voir tant qu'il en reste prisonnier. La conception initiale fait partie du système de pensée de l'élève et l'abandonner conduira à une réorganisation intellectuelle. Cette réorganisation ne peut être conduite «de l'extérieur» par l'enseignant. C'est l'élève qui doit conduire cette réorganisation de ses connaissances, et c'est en ce sens qu'il est constructeur de son propre savoir.

L'enseignement doit placer l'élève dans des situations où, devant faire des prévisions sur le résultat d'une expérience, il va s'appuyer sur ses représentations et les confronter avec celles de ses camarades. L'expérience est là, non pour montrer la vérité, mais pour permettre justement ce travail des représentations.

### 3.4. Ni tout construire, ni tout donner

Pour J.-P. ASTOLFI, deux écueils symétriques sont à éviter :

- l'idée qu'il suffirait d'exposer clairement les connaissances à mémoriser pour que les élèves puissent les retenir. Cette idée correspondant à l'image de l'élève «cruche vide qu'il suffit de remplir». Cette méthode, très proche de la méthode «traditionnelle», permettant «de ne pas perdre de temps» ;
- l'idée que l'élève pourrait redécouvrir, reconstruire les connaissances en ayant suivi la «bonne» méthode, la bonne démarche. On sait aujourd'hui les limites de cette pédagogie de la redécouverte.

Au contraire un apprentissage résulte toujours d'une certaine combinatoire de tels «ingrédients». A partir du moment où la démarche empruntée par les élèves rappelle celle du chercheur c'est leur rapport au savoir qui se trouve modifié. Cette modification permet alors de recevoir autrement l'information magistrale apportée par l'enseignant, ou de recourir à la documentation fournie par le manuel.

### 3.5. Restaurer la place de l'écrit dans l'enseignement scientifique

Beaucoup plus que l'oral, l'écrit développe la nécessité d'une pensée structurée et cohérente. Les travaux de G. Vergnaud et de Vygostki ont montré le rôle joué par le langage dans la construction des connaissances. C'est dès le plus jeune âge, lors de l'apprentissage de la langue, que cette dimension des apprentissages scientifiques doit être travaillée.

Par exemple au cycle 1, en grande section de maternelle (cinq ans), la maîtresse raconte l'histoire d'Isengrin, le loup qui, piégé par le renard, laisse tremper sa queue dans le lac pour attraper des poissons. Le lendemain, la glace s'est formée et la queue est coincée. Il y a là une situation intéressante (pour le physicien !) du point de vue du changement d'état.

La maîtresse va demander aux enfants de raconter à leur tour cette histoire. Au cours de la discussion entre les élèves, le questionnement spontané sur la bêtise du loup qui s'est fait prendre par la ruse du renard, se déplace vers la recherche d'explications permettant de répondre à la question : «pourquoi la queue est coincée ?». Le rôle du

«froid» et la «transformation de l'eau» apparaissent progressivement dans le discours des enfants.

La maîtresse propose alors de faire l'expérience en classe. Chaque enfant fabrique un loup en carton, et pour la queue un brin de laine fera l'affaire, quant au lac, un tube contenant un peu d'eau permettra d'y faire tremper la queue. Pour le «froid», une baignoire contenant l'équivalent d'une bouteille de glace pilée et quelques poignées de gros sel ( $-15$  à  $-20^{\circ}\text{C}$  garantis en quelques minutes). Chaque enfant peut ainsi faire son «expérience». Après ce travail la maîtresse demande aux enfants «de dessiner ce que nous avons fait». Nous présentons ci-après un exemple du compte-rendu que peut produire dans cette situation un enfant de cinq ans.

Sur une classe de vingt-quatre élèves de grande section de maternelle, tous ne produisent pas un compte-rendu aussi élaboré, mais plus de la moitié des enfants font apparaître les quatre phases de l'expérimentation : la queue dans l'eau liquide, la solidification dans le mélange réfrigérant, l'extraction du glaçon, et le glaçon se balançant à l'extrémité de la queue. Une telle activité, conduite en fin de cycle 2 (sept - huit ans) se traduira par des dessins accompagnés de légendes précisant ce qui se passe dans chacune des étapes. Au cycle 3 (neuf - dix ans) la part du texte sera bien sûr plus importante.

Cet exemple d'écrit dans l'action, illustre la pertinence de la proposition de G. CHARPAK, reprise par la Direction des Écoles (BO du 9 mars 1997), de fournir à chaque élève de l'école élémentaire un cahier d'expérience, à l'instar du cahier de laboratoire du scientifique, sur lequel il garderait la trace, avec ses mots à lui, de ses activités scientifiques de la grande section de maternelle au cours moyen.

#### 4. CONCLUSION

L'enseignement scientifique avec de jeunes élèves, du fait des spécificités des acteurs en présence (enseignants non spécialistes de sciences et âge des élèves), est soumis à des contraintes qui lui sont propres. Les finalités ne sont pas les mêmes que dans l'enseignement secondaire. A l'école élémentaire, il s'agit d'abord d'une éducation scientifique : apprendre à analyser une situation, à considérer les phénomènes d'un point de vue qui n'est plus celui de la vie de tous les jours, apprendre à communiquer ce que l'on a observé, ce que l'on a fait.

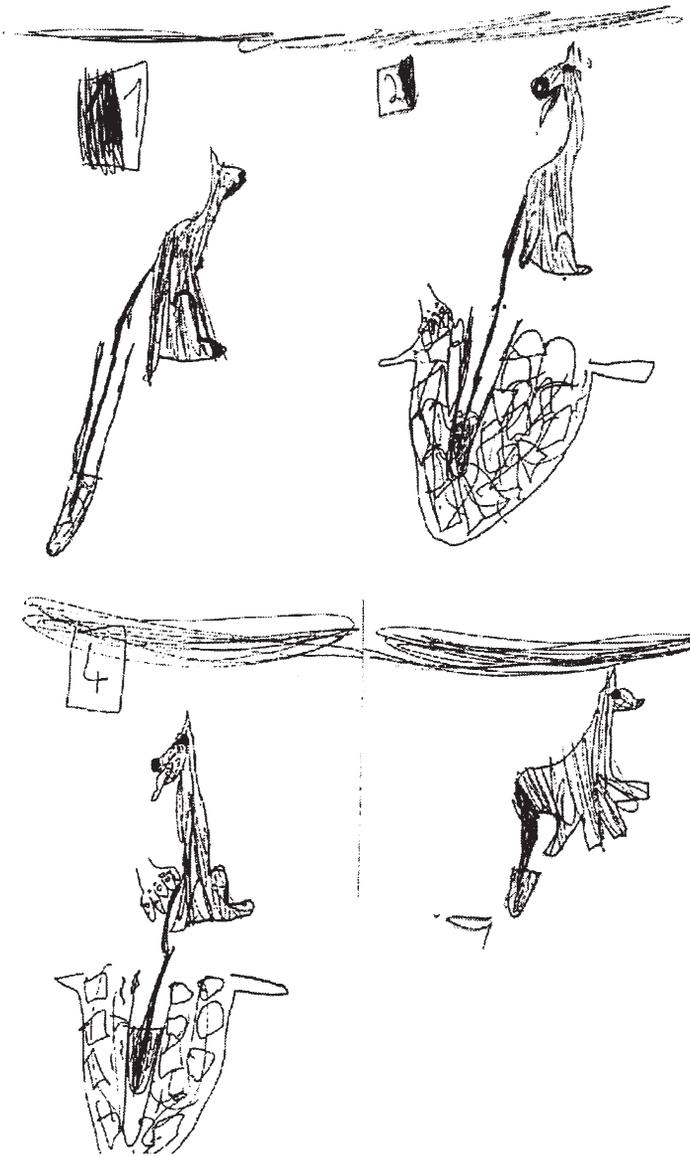


Figure 4

**Tableau d'une démarche possible d'enseignement en sciences**

(PG = petit groupe ; GC = groupe classe ; I = individuel)

<b>Construction du problème</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Questionnement libre ou semi-dirigé (PG) proposé par l'enseignement :               <ul style="list-style-type: none"> <li>– autour de documents,</li> <li>– ou/et lecture d'un texte,</li> <li>– ou/et manipulation.</li> </ul> </li> <li>• Formulation de questions par les élèves sur le cahier d'expérience.</li> <li>• Choix et reformulation d'une question (GC).</li> </ul>	Construire un point de vue et un questionnaire sur les phénomènes, communs à la classe.
<b>Résolution expérimentale du problème</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Élaboration (PG) d'une expérimentation possible.</li> <li>• Discussion (GC) des modalités de cette expérimentation.</li> </ul>	Se mettre d'accord sur les paramètres de l'expérimentation. Élaborer le protocole.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prévision (I) sur les résultats attendus.</li> <li>• Confrontation et argumentation des prévisions (GC).</li> </ul>	Faire s'exprimer et fonctionner les conceptions initiales des élèves.
	<p>Réalisation de l'expérience (PG).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observation des résultats de l'expérience (PG).</li> <li>• Trace «à chaud» de l'activité (écrit dans l'action) sur le cahier d'expérience (I).</li> </ul>	Mettre à l'épreuve des faits les conceptions des élèves.
<b>Formulation de l'acquis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confrontation des résultats et des prévisions (GC).</li> <li>• Discussion sur l'interprétation des divergences prévisions/résultats (GC).</li> <li>• Élaboration (GC) d'une trace écrite collective (écrit dans la réflexion).</li> </ul>	Faire bouger les conceptions initiales. Réorganiser les connaissances. Structurer et fixer le savoir construit.

Nous avons vu que l'expression, orale et écrite, y joue un rôle important. Les contenus disciplinaires sont très peu ambitieux, il ne s'agit pas d'accumuler des connaissances, mais plutôt de découvrir à travers des situations variées, quelles attitudes intellectuelles permettront de les construire le moment venu.

Ces réflexions sur l'enseignement scientifique avec de très jeunes élèves ne sont sans doute pas directement et totalement transposables, au collège.

Il nous semble néanmoins que les choix épistémologiques et didactiques qui fondent cet enseignement peuvent utilement contribuer à nourrir la dynamique de la rénovation de l'enseignement scientifique que nous évoquions au début de cet article. Dans cette optique, la réintroduction des sciences physiques en cinquième constitue une opportunité à ne pas manquer, pour assurer la cohérence et la continuité dans l'éducation scientifique des jeunes élèves.

Le schéma d'une démarche possible d'enseignement, que nous avons présenté ci-dessus, fait apparaître l'intérêt de la prise en compte par l'enseignant des conceptions initiales des élèves et du rôle joué dans la classe par le débat scientifique autour de l'expérimental, dans le traitement de leur réorganisation. Des travaux déjà menés en didactique des sciences au collège et au lycée (Johsua et Dupin 1989) montrent que ces deux aspects de l'enseignement scientifique ne sont pas réservés à l'enseignement des sciences à l'école mais constituent des points de convergence forte avec l'enseignement scientifique au collège.

Nous faisons le pari que c'est leur prise en compte qui permettra à «l'esprit» des nouveaux programmes du collège de souffler dans les salles de sciences !

## BIBLIOGRAPHIE

Pour en savoir plus concernant l'épistémologie des sciences, trois ouvrages faciles à lire :

- Bruno JAROSSON : «*Invitation à la philosophie des sciences*» - Coll. Points sciences, Le Seuil (1992).

Ouvrage facile d'accès, rédigé par un enseignant de physique, qui fait la synthèse des travaux des épistémologues contemporains et présente les principaux thèmes de la philosophie des sciences.

- EINSTEIN et INFELD : «*L'évolution des idées en physique*» - Réédition, Flammarion, Paris (1983).

De la mécanique de Newton à la mécanique relativiste, les idées et les faits qui ont changé la physique, présentés très simplement par un grand scientifique qui fut aussi un grand pédagogue.

- Gaston BACHELARD : «*La formation de l'esprit scientifique*» - Vrin, Paris (1938).

L'ouvrage incontournable sur les obstacles épistémologiques rencontrés dans la construction des connaissances scientifiques, par celui qui renonça à enseigner la physique au collège pour se consacrer à «la psychanalyse de la connaissance objective» afin de mieux comprendre l'origine des difficultés des élèves en classe de physique.