

# REGARD SUR EXPERIMENTATION MODELISATION EN SCIENCES A L'ECOLE

**Élisabeth PLÉ**

Professeur IUFM Champagne Ardenne  
Laboratoire A.E.P. Université de Reims.  
elisabeth.ple@reims.iufm.fr

## Résumé

Les programmes de 2002 en sciences mettent en avant la *démarche d'investigation*, et font aussi référence à l'opération « la Main à la Pâte ». A partir d'un bref regard historique, nous nous poserons la question du rôle des fondements épistémologiques dans les pratiques des enseignants de l'école élémentaire et surtout nous analyserons la place que peut occuper l'expérimentation et la modélisation dans les activités scientifiques à l'école. Enfin nous illustrerons nos propos à partir d'un exemple, celui de la construction de la matérialité de l'air chez des élèves du cycle 3.

## I – UN COURANT DE RENOVATION DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES EN FRANCE

### I – 1 *La main à la Pâte*, un nouvel élan pour les sciences

Depuis quelques années, la France est engagée dans un courant de rénovation de l'enseignement des sciences. C'est à l'initiative d'un prix Nobel de Physique, Georges Charpak (1996), qu'a été expérimentée l'opération « La Main à la Pâte ». Il est revenu conquis par ce qu'il avait observé dans des quartiers difficiles de Chicago : « *là bas, les enfants ne sont pas assis à écouter le maître... ils font des manips par groupe... chaque jour ils écrivent ce qu'ils ont fait et compris sur leur cahier d'expérience* ». Si elle a irrité certains, c'est qu'elle s'affichait au départ comme une nouvelle méthode importée des États Unis, alors que ce type de pratique était préconisé dans notre pays depuis longtemps et que des enseignants pratiquaient humblement mais avec enthousiasme ce genre d'enseignement dans leur classe. Celui-ci restait, il est vrai, confidentiel et surtout, était considéré comme inaccessible par tous les autres qui oeuvraient de manière plus traditionnelle.

Cependant « La Main à la Pâte » fut déterminante pour dynamiser l'enseignement des sciences à l'École pour trois raisons :

- Pour la première fois, la communauté scientifique, au plus haut niveau puisque qu'elle sera pilotée par trois académiciens des sciences<sup>1</sup>, se mobilise pour reconnaître l'importance du développement de ces démarches chez les jeunes enfants, et mettre en avant des travaux réalisés par les enseignants. L'enseignement des sciences à l'École est enfin pris au sérieux et n'est plus considéré comme une sous-science de bouts de ficelle.
- Des ressources clés en main sont produites et mises en ligne<sup>2</sup> sur un site Internet. Un accompagnement à distance ou de proximité est offert aux enseignants.
- Une forte médiatisation met en avant ce type d'activités auprès du grand public.

« La Main à la Pâte » mobilisera, dès le début, des didacticiens des sciences, puisque c'est l'INRP avec l'aide de l'Académie des Sciences qui sera chargée de la piloter. Elle n'est évidemment pas un renouveau pédagogique créé de toutes pièces par des académiciens des sciences<sup>3</sup> mais plutôt une promotion des sciences à l'école accompagnée d'aides pratiques à destination des enseignants pour assurer la faisabilité de ces activités.

Georges Charpak usera de sa notoriété, de son influence et de toute son énergie pour convaincre le Ministère de l'Éducation Nationale de dépasser le stade expérimental de cette opération. Ainsi en 2000, le M.E.N. lance un plan de Rénovation des Sciences en reprenant les principes de la M.A.P., et en 2002, les nouveaux programmes pour l'école élémentaire mettent en avant *la démarche d'investigation*.

## I – 2 Les sciences à l'École, effet de mode ?

Dix ans après, on constate un certain engouement pour les activités scientifiques à l'École. Sans douter bien au contraire de cette embellie, on peut cependant s'interroger sur la pertinence des arguments mis en avant.

- « *Les élèves sont actifs* » dit-on. Il est en effet de bon ton dans les pédagogies actives de faire participer les élèves. La manipulation ne doit cependant pas constituer une finalité, c'est un moyen pour construire du savoir. Encore faut-il avoir pensé la place de l'expérience dans ce processus d'élaboration intellectuelle...
- « *C'est concret* », mais chacun sait que l'exemple ne suffit pas, l'élève doit d'ailleurs se déprendre de l'exemple pour comprendre...

---

<sup>1</sup> Georges Charpak, Pierre Léna et Yves Quéré.

<sup>2</sup> [www.inrp.fr/lamap](http://www.inrp.fr/lamap)

<sup>3</sup> Georges Charpak ne s'est jamais présenté comme un pédagogue ni comme un spécialiste de l'enseignement.

## EXPERIMENTATION, MODELISATION EN SCIENCES

- « *C'est motivant* », certes, mais si le plaisir de la manipulation est important, il ne doit pas constituer le seul moteur de l'activité. La motivation à prendre en compte est surtout celle qui anime tout chercheur et qui est liée au plaisir de la découverte. C'est aussi celle-là qui engendre, à partir des nouvelles connaissances, d'autres questionnements.

Bien sûr, évaluer ce type d'activités ne peut se limiter à une approbation enthousiaste mettant en avant ce genre d'arguments relevant plutôt du « pédagogiquement correct » ou de l'air du temps.

---

## II – QUELQUES MOTS SUR L'EXPERIMENTAL DANS LES ACTIVITES SCIENTIFIQUES A L'ECOLE : REGARD HISTORIQUE

---

Nous n'avons pas l'ambition de réaliser une étude exhaustive sur ce thème, mais nous souhaitons poser le problème du rôle tenu par l'expérimental et l'empirisme dans l'enseignement, à la lumière d'un éclairage porté sur les « leçons de choses », pionnières de l'enseignement obligatoire des sciences.

C'est à travers l'article 1<sup>er</sup> de la loi du 28 mars 1882 que pour la première fois figure nommément l'enseignement obligatoire des sciences physiques et naturelles à l'école. Il est d'ailleurs dans ce texte associé aux mathématiques sous l'appellation « d'éléments de sciences naturelles, physiques et mathématiques ». Mais dès la sortie des programmes de 1882, cette association disparaît (le terme mathématiques est également balayé des programmes) et ces éléments de sciences naturelles et physiques deviendront même « usuels ». Rapidement cet enseignement est désigné sous le terme « leçons de choses ». En 1908, Pauline Kergomard, Inspectrice de l'Éducation Nationale et cheville ouvrière de la « *leçon de choses* », après avoir sillonné la France, apporte ses conseils aux enseignants. « *Règle absolue : l'enfant doit voir la chose sous toutes ses faces, sous tous ses aspects, ..., il doit la voir dans la lumière et dans l'ombre, avec les yeux, mais aussi avec les doigts...il doit la sentir si elle a de l'odeur, l'écouter si elle a du son, la goûter si elle a de la saveur* ». C'est donc en premier lieu une perception sensorielle qui est sollicitée nécessitant un contact avec la *chose à manipuler*.

Comme le souligne Kahn (1999), dès le début, les leçons de choses sont écartelées entre deux modèles, celui des « connaissances usuelles » pour répondre aux « usages de la vie » et un « modèle épistémologique » qui renvoie à la nature de la démarche préconisée. A l'instar du savant qui établit des lois à partir d'observations de la nature, l'enfant est invité à l'observation.

Les instructions de 1923 préconisent de rendre l'enfant non seulement observateur, mais aussi « expérimentateur » et ainsi de le rapprocher encore plus de la science qui se pratique dans les laboratoires. Mais en même temps cet enseignement devient une sorte

« de paradigme d'une éducation à la raison par les méthodes actives, à laquelle doit contribuer la totalité de l'enseignement primaire » (Kahn, 2000)<sup>4</sup>.

Si les instructions de 1945 suppriment le caractère expérimental pour ne garder que l'observation, elles font toujours référence à des fondements épistémologiques en justifiant cette réduction du fait de l'incapacité pour des enfants de cet âge d'accéder à d'autres opérations jugées trop complexes. Cependant, une fois encore, cette pédagogie inductive n'est pas limitée à l'enseignement des sciences et tout l'enseignement primaire prône une « méthode intuitive et inductive » où l'observation est centrale (en particulier en histoire, géographie, arithmétique et géométrie).

Certes, cette « leçon par les choses », où la vérité est dans la chose à condition de bien l'observer est très marquée par le positivisme du 19<sup>ème</sup> siècle. Tout au long du 20<sup>ème</sup> siècle (jusqu'aux activités d'éveil), cette référence épistémologique constituera une sorte de caution pour lutter contre un enseignement dogmatique, verbaliste et livresque. C'est aussi la conclusion que tire J. Lebeaume (2002) à la suite de l'analyse des programmes scolaires (fin du 19<sup>ème</sup> siècle et du début du 20<sup>ème</sup>) qui accolent l'adjectif expérimental aux disciplines (travail manuel, géométrie, mécanique, technologie...). Il cite ainsi Basquin (1947) qui propose un enseignement de la mécanique à partir d'expériences : « *L'exposé est dans le livre, et c'est par là que le Professeur peut gagner du temps. Qu'il y renvoie les Élèves sans regret ! Mais les expériences, elles, n'y sont que décrites, et il faut qu'elles soient vécues. Les faire bien, c'est ajouter à la boîte à conserves qu'est le livre les vitamines indispensables ; c'est vacciner l'esprit des élèves contre le scorbut intellectuel que la seule parole du Professeur est impuissante à vaincre* ».

Nous aurions bien sûr pu continuer cette réflexion en faisant aussi appel aux « activités d'éveil » qui remplaceront « les leçons de choses », et pour lesquelles la démarche expérimentale deviendra d'une certaine façon une figure de référence pour une démarche d'apprentissage à l'école élémentaire, mais ce regard historique a seulement la prétention de poser la question du rôle joué par l'affichage des fondements épistémologiques dans une rénovation pédagogique pour l'école. Nous considérons avec J.L. Martinand (1995) que la polyvalence de l'école élémentaire ne peut être considérée comme une multivalence, mais comme une spécialité, celle des apprentissages fondamentaux et des premiers apprentissages dans chaque domaine. Dans ce contexte, n'est-il pas utopique de penser qu'une didactisation des différents domaines disciplinaires soit compatible avec une pédagogie prenant en compte l'élève dans sa globalité ? Ainsi les démarches mises en avant en sciences ne sont-elles pas plutôt considérées dans les pratiques comme des figures emblématiques pour lutter

---

<sup>4</sup> « Cet esprit générateur de liberté et de personnalité tend à animer de plus en plus un enseignement primaire qui, à tous ses degrés, vise à n'être plus verbal et s'efforce de faire observer, expérimenter et réinventer. L'enfant, remarque Bergson, est un inventeur et un chercheur » ; prenons garde à ne pas en faire un écouteur » (Auriac, 1939, cité par Kahn (2000)).

## EXPERIMENTATION, MODELISATION EN SCIENCES

contre un enseignement dogmatique et frontal, que comme une transposition à l'échelle de l'école de la science des laboratoires ?

---

### III – QUELLES ACTIVITES POUR L'ECOLE ?

---

#### III – 1 Épistémologie sous-jacente des activités scientifiques à l'école

Les activités scientifiques à l'école préconisées par les programmes de 2002 possèdent bien sûr des fondements épistémologiques différents de ceux des « leçons de choses » empreintes d'inductivisme et de positivisme et faisant la part belle à l'observation. C'est la période des activités d'éveil et en particulier les travaux de recherche de l'INRP qui ont marqué ce renouveau pédagogique.

L'activité scientifique ne commence pas par l'observation mais, avec K. Popper, par une problématisation du réel. Bachelard (1938) est aussi passé par là, et l'on sait que « l'expérience première » (l'expérience sensible non questionnée) est trompeuse. La « logique de la découverte » consiste à délimiter le problème et présenter des hypothèses les plus réfutables possible sur le plan empirique.

À Bachelard, on doit aussi la notion « d'obstacles épistémologiques ». Ce concept viendra d'ailleurs conforter celui de représentations issues de la psychologie. L'obstacle au sens bachelardien n'est pas un manque, mais plutôt comme le définit Fabre (1995), un trop plein de connaissances qu'il faut déconstruire pour accéder à un savoir scientifique.

Avec Thomas Kuhn, la science n'est pas un reflet objectif du monde mais un construit social. Le débat scientifique est donc un combat, la recherche pure de vérité, un mythe. Ainsi, l'idée que le savoir procède du simple au complexe est totalement remise en question. À l'ordre encyclopédique du savoir on substitue la notion de niveaux de formulation du concept. Le savoir se construit par ruptures et continuité.

Les programmes de 2002, tout comme « La Main à la Pâte », mettent particulièrement l'accent sur la pratique de la langue et la socialisation. C'est en se référant au modèle du chercheur tenant dans son laboratoire un « cahier d'expériences » que les enseignants sont invités à faire tenir un carnet d'expériences à leurs élèves. C'est aussi en faisant référence à ce même modèle qu'est mis en avant le développement de l'objectivité et de la citoyenneté. Mais ce sont surtout deux objectifs fondamentaux de l'école, la pratique écrite et orale de la langue et la construction du lien social qui sont ainsi visées.

#### III – 2 Deux registres d'activités pour l'école

Nous empruntons à Jean Louis Martinand les deux registres d'activités pour l'école. D'une part un niveau de familiarisation pratique avec des phénomènes, des objets, des procédés, des rôles... D'autre part un registre d'élaborations intellectuelles que nous pouvons suivre la suggestion de V. Host, scinder en deux :

- Un niveau de *représentation*. Il s'agit parfois de définir les objets de la science, par exemple la matière, la température, la fusion, la dissolution... Bien entendu la définition est bien souvent le point d'arrivée, résultant de la construction. On pourra se reporter à l'exemple développé ci après concernant l'air. Dans d'autres situations, il s'agira de substituer des relations systématiques (des lois) aux corrélations aléatoires entre objets et événements perçus globalement.
- Un niveau d'explication scientifique visant à construire des *modèles et des théories*.

### III – 3 Modèle, modélisation ?

#### III – 3.1 Qu'est-ce qu'un modèle ?

Notre réflexion se limitera à l'enseignement pour un niveau élémentaire correspondant à l'école primaire et au collège.

Sous le terme modèle on désigne des choses fort diverses, comme les maquettes de l'astronomie pour comprendre par exemple le phénomène de saisons, des analogies, des schémas ou diagrammes mettant en relation par exemple l'état de l'eau et la température, les modèles particuliers de la matière (modèle moléculaire, atomique...) ou bien des équations mathématiques (par exemple, pour exprimer la relation entre l'intensité et la tension aux bornes d'un dipôle).

Si une théorie peut être conçue comme un ensemble de lois traduisant intellectuellement des phénomènes de la nature, le modèle s'affiche comme un artefact, une construction de l'esprit qui se substitue à l'objet réel.

Toutefois, selon les cas, le modèle se rapproche davantage de :

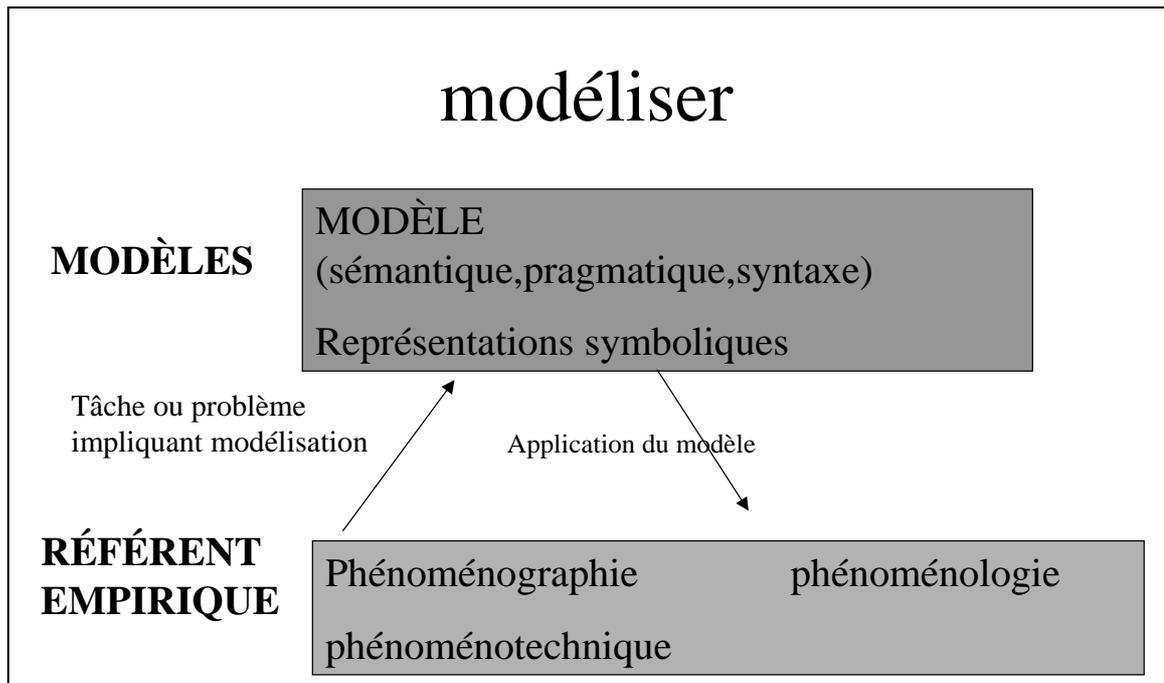
- l'image, c'est alors l'aspect figuratif qui est privilégié ;
- la théorie qui met en avant la construction intellectuelle, par opposition au côté empirique ;
- la mathématisation qui est associé à la formalisation rendant compte, grâce à des formules, de réalités très différentes les unes des autres.

Selon les sens envisagés le modèle se caractérise par le fait qu'il est :

- hypothétique ;
- modifiable ;
- pertinent pour certains problèmes, dans certains contextes.

### III – 3.2 Qu'est-ce que modéliser ?

Nous nous appuyerons sur le schéma de J.L. Martinand (1992,1994) pour définir cette opération.



Martinand distingue bien le registre du « référent empirique » de celui des modèles. Il insiste sur la particularité de ce référent empirique pour les sciences expérimentales. D'une part le registre du modèle se construit en s'appuyant sur ce référent mais selon des exigences qui n'ont pas de solutions au niveau empirique. D'autre part, ce référent n'est pas seulement constitué par des objets, des phénomènes, des procédés, des rôles, mais aussi par des descriptions, des règles, des lois, des savoirs qui n'ont cependant qu'un statut empirique. Ce niveau d'élaboration intellectuelle que nous qualifions précédemment de « Représentation » est bien constitutif lui aussi du registre empirique.

Dans le registre des modèles, se posent les questions des théories élaborées, des outils symboliques mis en jeu, des significations ainsi construites, du domaine de validité des modèles c'est ce que Walliser (1977) désigne par la sémantique, pragmatique, syntaxe des modèles.

Le pouvoir du modèle est bien sûr d'apporter des outils, des ressources pour questionner le référent empirique, se représenter, expliquer, prévoir, inventer. On distinguera donc les descriptions qui sont à l'origine des élaborations modélisantes (phénoménographie, phénoménotechnique), des descriptions qui relèvent d'une projection du modèle sur le référent (phénoménologie).

Enfin modéliser, implique une tâche qui est loin d'être une simple utilisation d'un modèle ad hoc. Elle nécessite de se poser la question de ce qui doit être pris en charge par l'élève et ce qui doit lui être fourni (les germes du modèle).

### **III – 3.3 Modéliser à l'école ?**

Modéliser, c'est résoudre un problème qui n'a pas de solution au niveau empirique. De nombreuses situations de l'école élémentaire, en particulier celles relatives aux études de transformation de la matière, amènent les élèves à se poser des pourquoi nécessitant le recours au modèle particulière. C'est par exemple le cas de l'évaporation qui pose à l'élève de 10 ans le problème de la représentation d'une matière existante, l'eau, dans un état invisible, la vapeur.

Spontanément les élèves sont tentés de dire que le liquide s'envole sous forme de très petites gouttes très légères, si petites qu'elles sont invisibles. Pour l'élève, ces petites gouttes sont encore du liquide, même si elles sont petites et invisibles. Elles sont donc très différentes des particules du physicien... On trouve ici l'obstacle classique de la non-dissociation entre le registre empirique et le registre du modèle. Ainsi ce « modèle spontané » est fort discutable car il manque aux élèves le caractère hypothétique d'un raisonnement sur le possible. L'opération de construction du modèle (sémantique et syntaxe) n'est pas envisagée dans les programmes actuels. Elle demanderait une forte didactisation, mais serait surtout à la limite des possibilités des élèves de cet âge.

En revanche, il est parfois fait usage de modèles à l'école élémentaire, en particulier pour traiter des questions d'astronomie. Cette manipulation de modèles est souvent qualifiée à tort de modélisation. Elle n'est pas sans poser des problèmes ! La manipulation d'un simple globe terrestre par les élèves n'est pas simple car la maquette sensée modéliser la Terre est placée sur la Terre elle-même. Pas étonnant par exemple que cette utilisation amène les élèves à penser qu'il existe une verticale universelle dans l'espace, par référence à la verticale du lieu de manipulation...

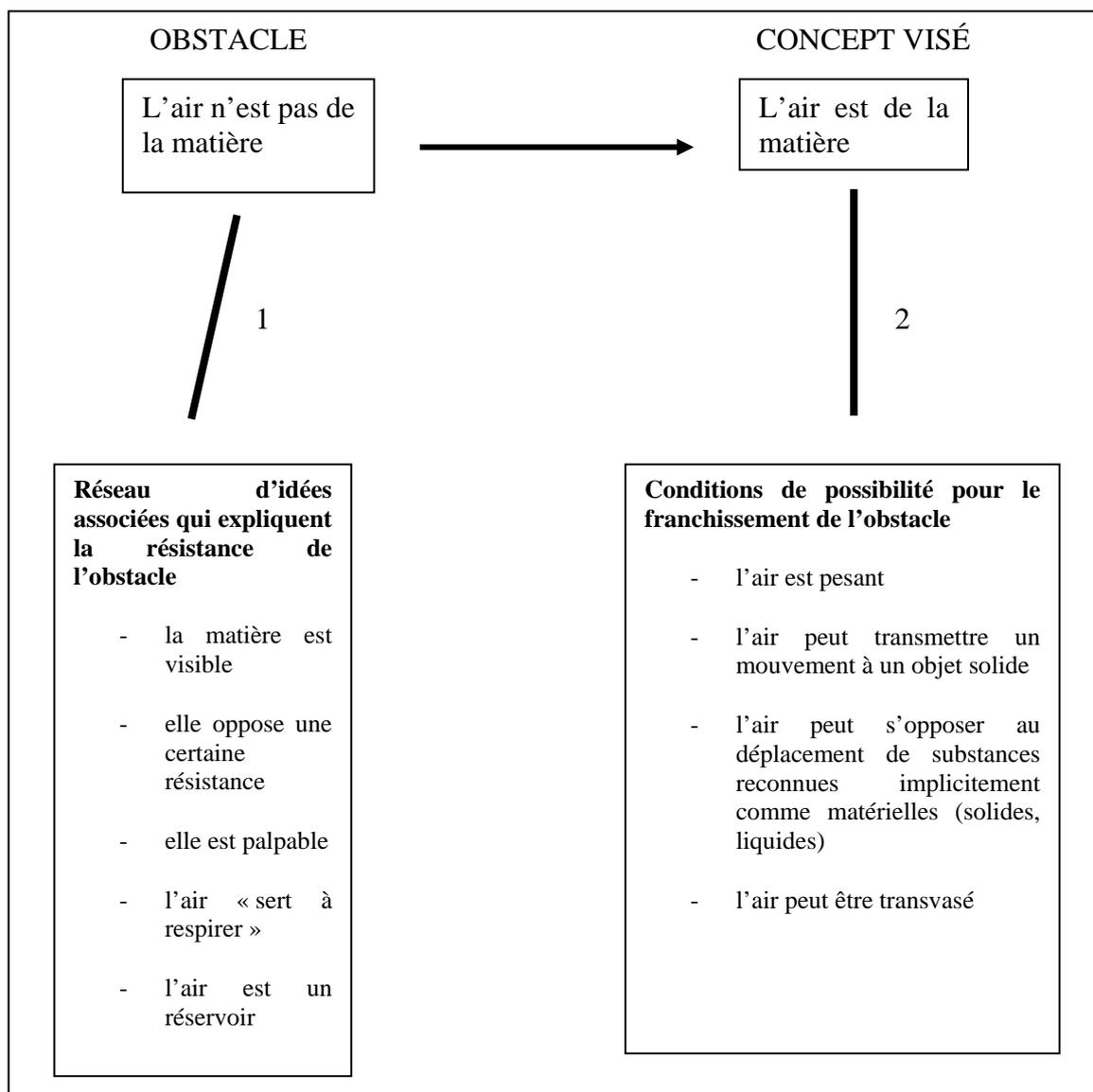
---

## **IV – UN EXEMPLE DE DEMARCHE D'INVESTIGATION A L'ECOLE**

---

La stratégie didactique que nous décrivons par la suite est centrée sur le franchissement de l'obstacle « l'air n'est pas de la matière », par des élèves de 10 -11 ans. Si l'enfant de cet âge n'entend pas le terme matière dans son acception scientifique - ce mot évoque pour lui : la matière grasse, les matières premières, les disciplines - c'est que ce concept n'est que partiellement construit. Son expérience première l'amène implicitement à reconnaître la matière sous sa forme liquide et solide. C'est alors quelque chose qui se voit, se manipule, oppose une certaine résistance, est pesant. Tout le contraire de la conception qu'il a de l'air en somme !...

Le schéma suivant, document 2 (Astolfi, Peterfalvi, 1993), figure le caractère fonctionnel de l'obstacle.



### Document 2 - Fonctionnement de l'obstacle « l'air n'est pas de la matière »

Cet obstacle est véritablement résistant car il est fermement implanté dans la tête de l'enfant, constituant un système cohérent d'interprétation du monde construit grâce à ses propres expériences. Le réseau d'idées associées (1) justifie le fait que l'élève n'abandonne pas facilement ses représentations au profit d'une représentation alternative (2) à construire à partir de l'acte d'enseignement.

L'enseignant, lui, perçoit d'abord l'obstacle comme un écart au savoir à enseigner, comme ce qui s'oppose à la réussite de son projet. L'idée d'objectif-obstacle, (Martinand, 1986), se présente comme l'envers de l'idée de blocage :

*« Dans la mesure où ces obstacles ont une signification épistémologique profonde, je crois qu'ils fournissent la clé pour formuler les buts les plus essentiels de l'éducation. »*

*Autrement dit, il s'agit d'exprimer les objectifs en termes d'obstacles franchissables, car parmi la diversité des objectifs possibles, les objectifs intéressants sont les objectifs-obstacles. ».*

C'est dans cet esprit que Astolfi & Peterfalvi (1993) suggèrent de traiter les obstacles, « *non pas négativement comme ce qui empêche l'apprentissage, mais plutôt de les considérer comme l'enjeu conceptuel* », à condition bien sûr, « *de se donner les moyens de les penser d'une manière qui rende possible leur dépassement* ».

## **IV – 1 Déroulement des activités**

### ***IV – 1.1 Le verre vide / L'air s'oppose à l'entrée de l'eau***

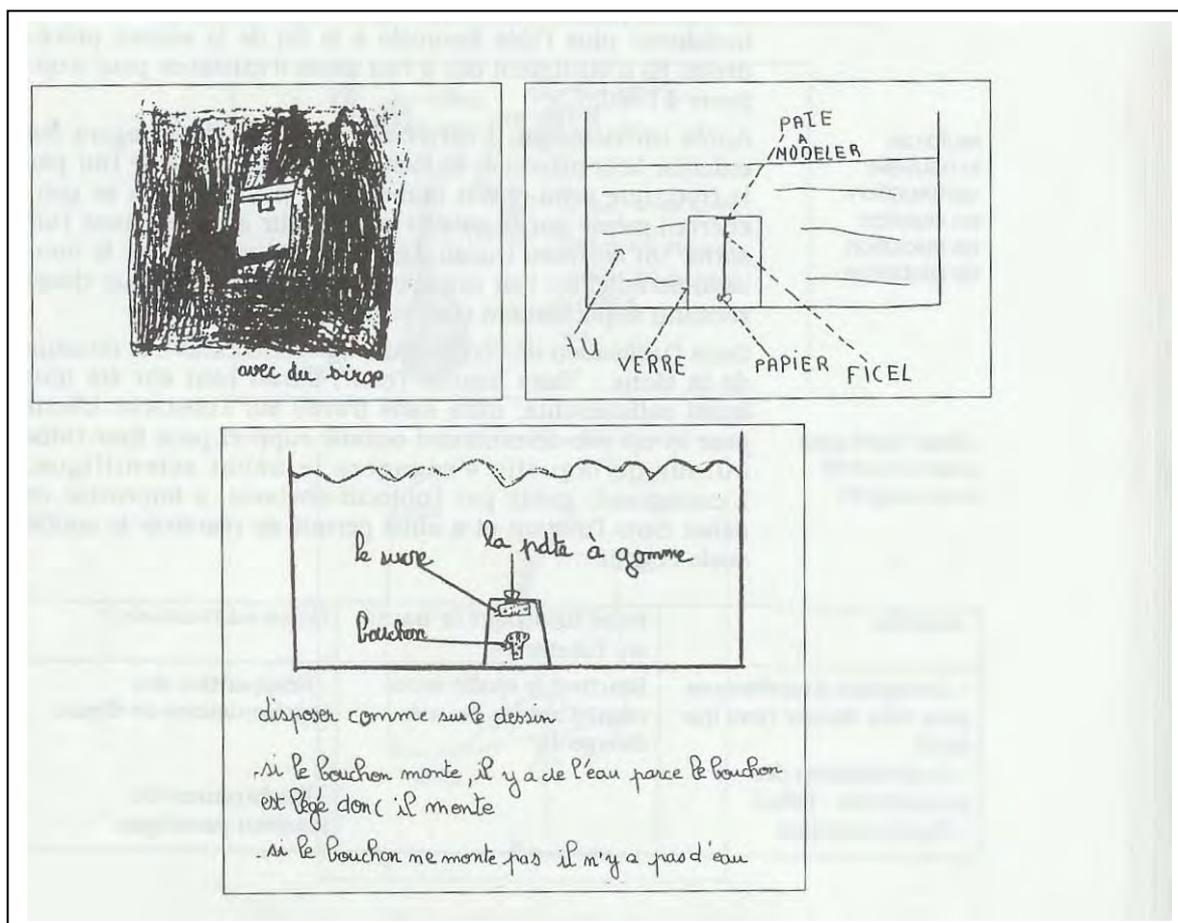
La première séance est centrée sur une activité expérimentale qui consiste à enfoncer un verre en plastique transparent, au fond duquel on a collé un sucre, dans un bac transparent rempli d'eau, tout en le maintenant bien verticalement, l'ouverture vers le bas. Cette expérience sera réalisée par l'enseignant, après avoir demandé aux élèves d'anticiper ce qui va, selon eux, se passer.

La présence du sucre donne à la situation un caractère inattendu, propice à la mobilisation des idées. Les élèves, dans leur grande majorité, 19/23, prévoient que l'eau montera dans le verre :

- *dans l'eau, le sucre va fondre ;*
- *le sucre tombe en petits morceaux ;*
- *l'eau ira dans le pot et le sucre se décollera.*

On réalise l'expérience, mais le fait a priori surprenant sur lequel l'enseignant espérait s'appuyer pour créer le conflit - l'eau ne monte effectivement pas dans le verre - est nié. Certains affirment voir monter l'eau, d'autres demandent de refaire l'expérience en enfonçant plus rapidement le verre, ou bien à l'inverse, plus lentement... L'argument de la non dissolution du sucre n'est pas pour eux une preuve pour montrer que l'eau ne monte pas (« peut-être que l'eau monte à ras du sucre, sans le mouiller »). La plupart affirment ne pas bien voir. Manifestement, la contradiction apportée par l'enseignant par l'intermédiaire de l'expérience, n'est pas perçue comme telle : les élèves fuient le conflit cognitif, ils tiennent trop à leur représentation de départ et préfèrent mettre en doute le fait observé. Face à cette situation, l'enseignant met au point une stratégie d'évitement de fuite du conflit : il entre dans le jeu des élèves et leur donne le droit au doute. « C'est vrai on ne voit pas bien. » Il les met alors au défi de concevoir par eux-mêmes, en petits groupes, une expérience pour prouver que l'eau monte (ou pas). Cette phase joue sur le mode de la dévolution du problème : l'imperfection de la situation qui n'est pas favorable au projet de l'enseignant est utilisée positivement pour enrôler les élèves. Sans perdre de vue le cap conceptuel fixé, l'enseignant permet une négociation entre son projet et les idées des enfants : il infléchit son projet en impliquant les élèves dans l'explicitation de leur arguments.

## EXPERIMENTATION, MODELISATION EN SCIENCES



### Document 3 - Propositions d'expériences d'élèves pour prouver que l'eau monte ou pas dans le verre.

Bien sûr, hélas pour eux, toutes les expériences qu'ils proposent (colorer l'eau, mettre un bouchon en liège comme flotteur, introduire un mouchoir en papier dans le verre...) vont à l'encontre de leur prévision. Cette réactivation du conflit amène les élèves à reconsidérer le problème et à accrédi-ter le fait a priori inacceptable. Ils y sont d'autant plus disposés que ce sont eux qui ont conçu et réalisé les expériences pour le vérifier.

Les élèves formuleront finalement, individuellement et par écrit, que ce « verre vide » contenait de l'air qui s'oppose à l'entrée de l'eau : - « parce qu'il y a de l'air dans le pot » - « l'air met l'eau sur les côtés » - « l'air forme un bouchon » - Mais ont-ils une alternative possible ?

#### **IV – 1.2 Faire monter l'eau / C'est bien l'air qui empêche l'eau de monter.**

Pour faire fonctionner la nouvelle idée, l'enseignant demande de proposer, par écrit et en groupe, des moyens pour faire entrer l'eau dans le gobelet (celui-ci étant toujours maintenu verticalement dans l'eau, l'ouverture vers le bas).

Les résultats de chaque groupe (Document 4) sont communiqués à toute la classe au moyen de posters. Chaque groupe propose plusieurs solutions, dont faire des trous. Seul le groupe dans lequel un élève avait prévu et expliqué, en faisant intervenir l'air, que l'eau ne monterait pas, propose un dispositif pour aspirer l'air. Un autre propose de faire un trou sur une partie non immergée. L'explicitation de cette proposition par le groupe, à la demande de l'enseignant, déclenche une très vive réaction et relance le précédent conflit : « *Ça ne marchera pas l'eau ne pourra pas entrer - quand un bateau est percé l'eau rentre, mais il faut que le trou soit dans l'eau, autrement ça ne fait rien.* » Les élèves semblent penser que c'est seulement la paroi du verre qui empêche l'eau de rentrer et ne mobilisent plus l'idée formulée à la fin de la séance précédente. Ils n'attribuent pas à l'air assez de « consistance matérielle » pour qu'elle soit capable de s'opposer à l'eau.

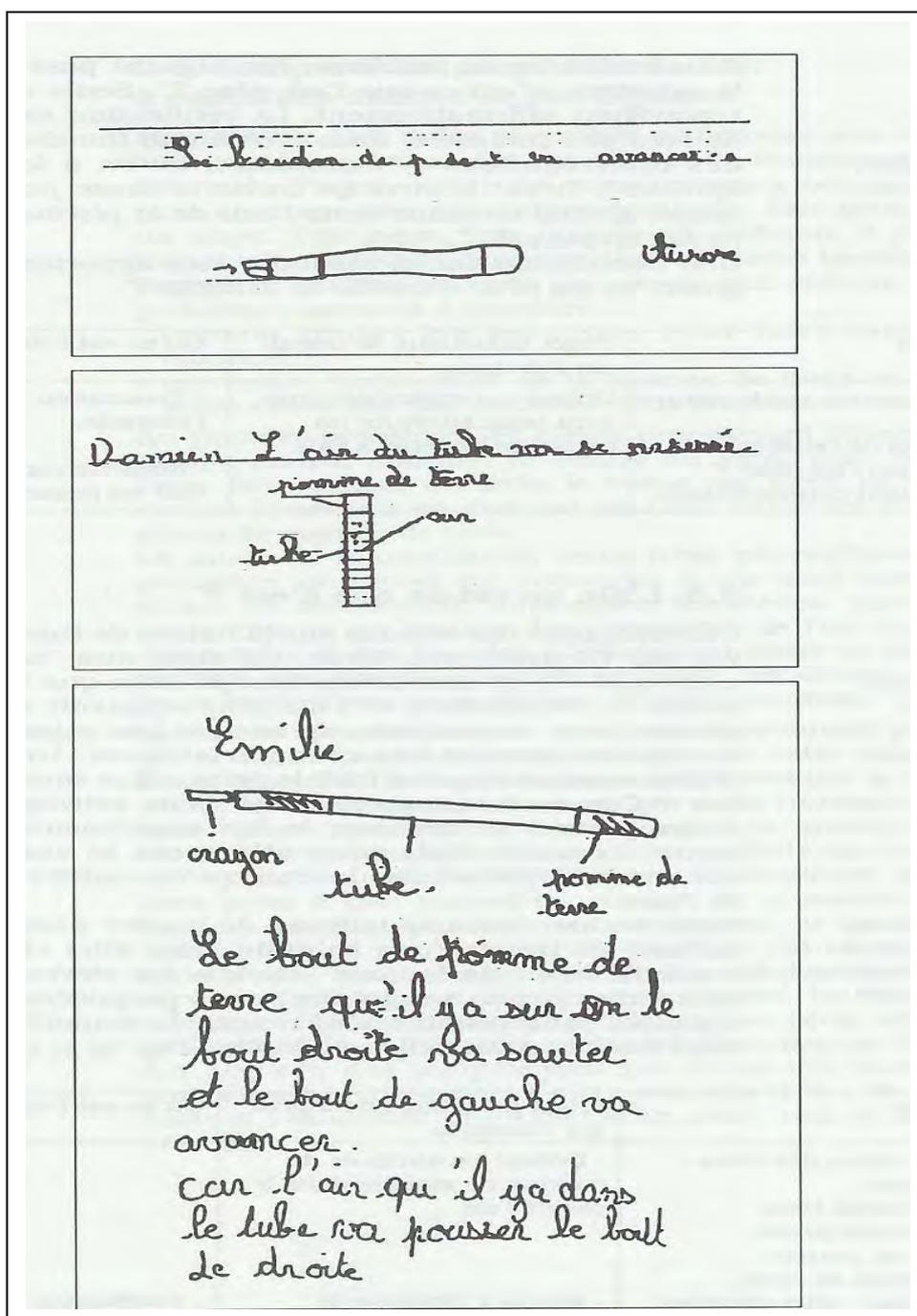
Après un vif débat, c'est l'expérience qui départagera les enfants. Leur attention se focalisera sur la sortie de l'air par le trou, que celui-ci soit immergé ou pas. Certains se pencheront même sur le gobelet pour sentir avec leur joue l'air sortir. Un nouveau travail d'écrit individuel stabilise le nouveau paradigme : l'air existe et peut résister à quelque chose que les élèves reconnaissent implicitement comme de la matière : l'eau .

On peut supposer que sans le débat préalable s'appuyant sur les écrits des différents groupes, la réussite de la tâche : « faire monter l'eau dans le verre » aurait bien sûr été tout aussi satisfaisante, mais sans travail sur l'obstacle. L'écrit joue ici un rôle déterminant comme support pour fixer l'idée autour de laquelle s'engagera le débat scientifique. L'enseignant, guidé par l'objectif-obstacle, doit cependant être capable de réagir dans l'urgence à une prise de position imprévue pour réactiver le conflit.



#### IV – 1.3 Le tube à patate / l'air peut pousser de la matière solide

On présente aux élèves un tube transparent fermé aux 2 extrémités par des bouchons de pomme de terre, et on leur demande, individuellement et par écrit, de prévoir ce qui va se passer lorsqu'on appuie sur l'un des bouchons. Seuls 7 enfants évoquent dans leur explication la présence d'air entre les deux bouchons (document 5).



Document 5 - Prévisions d'élèves sur ce qui se passera avec le tube à patate

## EXPERIMENTATION, MODELISATION EN SCIENCES

La réalisation de la manipulation remporte évidemment un grand succès, mais c'est un aspect, là aussi imprévu, qui est exploité par l'enseignant pour travailler l'obstacle. Certains canons ne fonctionnent pas : les élèves sont invités à rechercher la cause de la panne et à solutionner le problème :

- « *Peut-être que la pomme de terre est trop petite et que l'air part sur le côté.* »

- « *Peut-être qu'il y a un trou dans la pomme de terre.* »

- « *Il n'y a peut-être pas assez d'air pour pousser.* »

Certains refusent d'adhérer à l'idée commune qui est en train de se construire et s'étonnent par exemple que l'air sorte du tube pour aller vers la classe et pas l'inverse. Cette résistance est encore un signe d'évitement du conflit : ces élèves avancent cette idée en apparence saugrenue car ils perçoivent qu'elle est à la limite du réfutable par l'enseignant.

Enfin la nouvelle propriété - l'air peut pousser un solide - est discutée et généralisée à travers différentes situations pour lui faire acquérir le statut d'attribut du concept de matière.

### **IV – 1.4 Aller chercher un litre d'air de la cour / L'air peut se transvaser.**

Afin d'évaluer les acquisitions des élèves, l'enseignant demandera de trouver une solution pour aller chercher une « bouteille d'air de la cour ». Certes les élèves trouveront la demande un peu saugrenue, mais proposeront des réponses attestant le niveau de franchissement de l'obstacle. À cet âge, les élèves proposent en général de courir dans la cour en maintenant horizontalement une bouteille ouverte. Cette solution sera bien sûr proposée par certains mais contredite par d'autres qui, pour éviter le mélange de deux airs, bien qu'invisibles, proposeront par exemple de presser une bouteille souple dans la cour, puis de la refermer. Ou bien encore de remplir une bouteille d'eau, de la vider dans la cour... elle se remplira alors d'air. Une telle proposition n'est possible que si leurs auteurs considèrent que cette opération consiste à échanger une matière contre une autre.

### **IV – 1.5 L'air pèse**

Le fait que l'air pèse sera un argument massue pour donner à l'air le statut de matière. Cet argument est déterminant car il arrive, d'une part, après plusieurs phases de fissuration de l'obstacle qui ont déstabilisé les élèves, d'autre part, à un moment où les constructions nouvellement élaborées font s'interroger les enfants sur la nature de l'air.

Pour introduire ce problème, l'enseignant pose directement la question : « est-ce que l'air pèse ? ». Seuls deux sur 23 répondront affirmativement. La vérification expérimentale, au moyen d'une balance Roberval et d'un ballon dégonflé puis gonflé créera une franche surprise et des interrogations : « *mais alors, on en a lourd sur les*

*épaules* », « *c'est bizarre qu'on ne le sente pas quand on bouge. Quand on saute dans l'eau de la piscine, on la sent, ça fait un plaqué ....* ».

C'est le moment choisi par l'enseignant pour apporter une information déterminante : « *ce qui pèse, s'appelle de la matière* ».

#### **IV – 1.6 Structurer les connaissances**

Si la dernière activité a spontanément réactivé l'interrogation des élèves concernant la nature de l'air par des questions du type : « *oui mais l'air c'est quoi ?* », « *c'est peut être un gaz solide ?* », ils ne sont pas capables, à ce stade, d'en définir ses caractéristiques.

Il est donc capital pour l'enseignant de structurer les connaissances pour dépasser le fait expérimental, l'anecdotique, l'émotionnel, et aller vers le conceptuel et déterminer les attributs du concept de matière dans le cas de l'air. Montrer que ces propriétés sont communes aux solides et aux liquides est aussi une des conditions de franchissement de l'obstacle (Piaget, 1971).

La masse apparaît comme le critère déterminant pour définir la classe matière, mais la limite de cette classe reste floue. En effet, le franchissement de l'obstacle a demandé un tel effort aux enfants que ce qui a été reconstruit prend alors une valeur universelle. L'air devient même le prototype de la matière et la nouvelle construction conforte un autre obstacle celui du substantialisme qui se manifeste quand ils sont prêts à tout considérer comme de la matière : « *alors tout est matière, les rêves, les sentiments, la lumière..., car comme l'air on ne peut pas les toucher* ». On retrouve là, le constat que faisait Piaget : les enfants de cet âge se servent de l'air pour expliquer la pensée, les rêves ou la mémoire. Il n'est donc pas étonnant que cette idée resurgisse ici. Mais, la démarche mise en place depuis le début a fait acquérir des compétences aux élèves qui leur permettent d'évacuer rapidement cette nouvelle idée : ils proposeront, et réaliseront une expérience pour « voir si la lumière pèse »...

### **IV – 2 Principes de fonctionnement du dispositif**

#### **IV – 2.1 Articuler déconstruction / reconstruction**

Le pôle construction est valorisé par la majorité des enseignants. Confrontés au problème de construire à terme le fait que l'air est de la matière, la plupart des enseignants observés dans des situations de formation préconisent de lister les attributs du concept de matière (« *il faut bien leur donner puisqu'ils ne savent pas ce qu'est la matière* » disent-ils) et de démontrer, preuves expérimentales à l'appui, que l'air possède bien ces propriétés.

Cette stratégie qui délaisse la déconstruction pour travailler d'emblée à une nouvelle construction néglige la notion d'obstacle ou plutôt ne considère de cette notion que l'écart entre le modèle explicatif de l'enfant et celui à construire. Si cette stratégie est efficace dans bien des cas (Barth, 1987), elle ne semble pas opérante à long terme dans

## EXPERIMENTATION, MODELISATION EN SCIENCES

le traitement d'un obstacle car celui-ci « *n'est pas un vide, mais un trop plein de connaissances* » (Fabre, 1995) ... qui risque de revenir au galop une fois le « vide » comblé. Ces dispositifs qui articulent déconstruction et reconstruction conceptuelle ont été qualifiés de « souple-dur » (Plé, 1995) dans la mesure où ils favorisent l'expression des idées des élèves en s'infléchissant en fonction des différentes propositions, tout en maintenant le cap conceptuel fixé.

### **IV – 2.1 Opposition par le conflit et coopération entre élèves**

La gestion d'une telle situation a ceci de paradoxal, c'est qu'elle oblige l'enseignant à créer une situation d'opposition, en rendant explicite les deux termes de la contradiction, tout en développant un climat favorable à la coopération entre élèves.

C'est en installant le droit à l'erreur, en dédramatisant la situation, ou encore, en accompagnant affectivement l'élève dans la défense de son point de vue, que l'enseignant contribue à installer ce climat favorable.

Ce n'est qu'à ce prix que l'accent pourra être mis par l'enseignant sur les expériences qui ne fonctionnent pas (le tube à patate...) ou sur des anticipations conduisant à des échecs (verre vide, ...) pour s'en servir comme un tremplin afin que les élèves réexaminent leur conception de l'air.

La réussite de l'expérience en situation scolaire est donc toute relative. Elle provoque certes un certain plaisir quand elle vient conforter les attentes de son concepteur, mais l'échec est bien souvent plus porteur pour faire réaliser un saut conceptuel.

### **IV – 2.2 Articuler écrits, débats et expérimentations**

La production d'écrit intervient comme un des moyens pour favoriser l'installation d'un réel conflit (Vérin, 1996), éviter la négation d'un des deux termes de la contradiction et permettre un investissement des élèves dans un débat. Ses formes et ses fonctions sont diverses.

- Lors de la prévision du résultat d'une expérience

Chaque élève est sollicité et formule par écrit son idée. C'est une manière d'engager personnellement chaque individu dans le débat scientifique qui en découlera. Ainsi, en empêchant l'oubli grâce à « la chose écrite », on évite le refuge vers une position consensuelle et confortable comme le génèrent souvent les sollicitations uniquement orales.

- A l'occasion de la recherche d'un procédé expérimental pour résoudre un problème

Cette procédure est organisée en deux temps : une recherche par groupe, où les élèves imaginent des solutions et doivent s'accorder pour les présenter aux autres sous forme

de posters, suivie d'une mise en commun où les affiches sont examinées, discutées, critiquées par la classe entière, comme le ferait une communauté scientifique.

De ce point de vue, le cahier d'expériences joue un rôle prépondérant. Il est un outil de la pensée en construction, à la fois point d'ancrage pour affirmer des idées, les exposer, les argumenter, lieu pour risquer sa pensée, trace d'une démarche d'investigation avec des allers-retours, des errements, des erreurs.

#### ***IV – 2.3 Tenir le cap conceptuel et infléchir le dispositif en fonction des réactions des élèves***

L'enseignant doit conjuguer deux logiques : celle du savoir à construire fixé par l'objectif-obstacle visé, et la logique de pensée des élèves. Pour prendre en compte cette dernière, l'enseignant doit être capable d'infléchir son dispositif pour permettre un véritable enrôlement au sens de Bruner (Bruner, 1983). La simple contradiction logique ne suffisant pas à amorcer le conflit, celui-ci ne sera effectif que si ces élèves se « prennent au jeu », s'ils peuvent s'investir affectivement dans un débat d'idées, si on les prend au sérieux, ou bien encore si on leur donne la possibilité de défendre leur point de vue en leur offrant la possibilité de résoudre un problème pour trancher entre différentes solutions.

Ainsi le dispositif est-il suffisamment rigide pour éviter les dérives, tout en laissant du jeu pour permettre un investissement des élèves.

#### **IV – 3 Nature des activités**

Chaque séquence présente des spécificités liées en particulier à la nature des savoirs à construire. Ici la spécificité réside dans le type de dispositif mis en place pour franchir l'obstacle de la non prise en compte du caractère matériel de l'air. Il s'agit en somme d'attaquer l'obstacle sur toutes ses faces. Pour chaque séance, les élèves appréhendent la nouvelle situation présentée avec le savoir nouvellement construit. Ces situations d'investigation empirique vont à terme contribuer à construire une nouvelle représentation de l'air, mais aussi de la matière. C'est donc bien un « niveau de représentation » que nous travaillons et nous restons à un traitement au niveau empirique. En revanche, lorsque les élèves se demandent « oui mais l'air c'est quoi ? », « c'est peut être un gaz solide ? », ce type de questionnement appelle des solutions qui n'existent pas au niveau du registre empirique et nécessiteraient de mettre en place un processus de modélisation, ce que nous avons délibérément écarté pour les raisons exposées plus haut.

---

## V – EXPERIENCES, EXPERIMENTATION

---

Nous empruntons à Maryline Coquidé (1998) la distinction entre les trois niveaux d'expérimentation.

*L'expérimentation-action*, correspondant à un registre de familiarisation pratique avec les phénomènes, les objets, les rôles et répondant au besoin de l'élève de faire des essais, de s'initier à des techniques et d'éprouver la résistance du réel. Outre ce besoin, il s'agit de construire chez l'élève une base empirique sur laquelle il pourra ensuite s'appuyer pour construire des concepts. Ce sont des expériences pour essayer, voir, explorer, s'initier.

*L'expérimentation-objet*, qui est au cœur de la démarche d'investigation. Comme le souligne Astolfi (2002), « **engager les élèves à expérimenter suppose qu'on encourage leur activité investigatrice et divergente** ». Si l'enseignant est loin d'être absent, il ne doit pas ouvrir un chemin balisé aux élèves. La connaissance s'expérimente dans **l'incertitude, la controverse, le débat** et l'expérimentation suppose la mise en place d'un espace discursif du type dialogique s'appuyant sur des outils langagiers divers, et en particulier des écrits instrumentaux (Vérin, 1996) et des échanges où sont mis en débat des arguments contradictoires dans un climat « **d'égalité argumentative** » (Rey, 1998). Ce qui est visé ici c'est construire un problème, examiner des solutions, mettre en doute, formuler une conclusion à remettre en débat le cas échéant ou bien à valider. C'est aussi développer par la même occasion des compétences langagières et des qualités d'écoute, de coopération et d'esprit critique. L'expérience a pour fonction de **tester, contester, argumenter**.

Enfin l'expérimentation-outil au service de la construction d'une notion comme on en trouve classiquement dans les séances de travaux pratiques, qualifiée par Joshua de **monstration**. L'expérience est ici une sorte d'artifice pour concrétiser la notion. Elle doit « marcher ». C'est l'expérience pour **démontrer, conceptualiser, modéliser**.

À l'école élémentaire, pour les raisons évoquées plus haut, c'est essentiellement les deux premières catégories d'expérimentation qui sont mises en œuvre. Cependant beaucoup d'enseignants ont une conception expérientielle de l'expérience. J'entends par là qu'ils associent expérience en sciences à expérience de la vie quotidienne et tendent à interpréter les modules proposés avec cette conception.

---

## V I – POUR CONCLURE

---

Vous remarquerez qu'invitées à croiser nos regards sur la modélisation à l'école en sciences et mathématiques, j'ai pour mon compte, mis plus l'accent sur les caractéristiques de la démarche d'investigation envisagée par les programmes que sur la modélisation. Il ne s'agit évidemment pas d'une dérobade, mais une manière d'affirmer le peu de place tenue par cette opération en sciences (physiques en tous cas) à l'école.

En faisant ressortir les caractéristiques de la *démarche d'investigation* en sciences, qui est avant tout une démarche heuristique et non algorithmique où la connaissance s'expérimente dans l'incertitude, la controverse, le doute, je souhaitais apporter une contribution pour continuer à croiser nos regards dans le cadre de la formation des maîtres. En effet, pour une formation à la polyvalence des maîtres (au sens où je l'ai définie), je ne pense pas que nous ayons intérêt à construire une tour de Babel dont on sait qu'elle est forcément vouée à l'échec, mais plutôt de faire ressortir des points communs et des différences dans nos approches. C'est, il me semble, une condition pour résister à la tentation du « pédagogiquement correct ».

---

**BIBLIOGRAPHIE**

---

- ASTOLFI J.P. & PETERFALVI B. (1993) *Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales*, Aster INRP, **16**, 103-141.
- BACHELARD G. (1938) *La formation de l'esprit scientifique*, PUF, Paris.
- BARTH (1987) *L'apprentissage de l'abstraction*, Retz, Paris
- BRUNER G. (1983). *Le développement de l'enfant : savoir faire, savoir dire*, PUF, Paris.
- CHARPAK G. (1996) *La main à la Pâte*, Flammarion, Paris.
- COQUIDE M. (1998) *Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles*, Aster, 26, INRP.
- FABRE M. (1995) *Bachelard éducateur*, PUF, Paris.
- KAHN P. (1999) *De l'enseignement des sciences à l'école primaire. L'influence du positivisme*, Hatier, Paris.
- KAHN P. (2000) *L'enseignement des sciences, de Ferry à l'éveil*, Aster, **31**, 9-35, INRP.
- LEBEAUME J.(2002) *De quelques enseignements expérimentaux...disparus*, Cahiers pédagogiques, **409**, 11-14.
- MARTINAND J.L. (Dir.) (1992) *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, INRP, Paris.
- MARTINAND J.L. (Dir.) (1994) *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, INRP, Paris.
- MARTINAND J.L. (Dir.) (1996) *Observer-agir-critiquer l'enseignement des sciences expérimentales à l'école élémentaire*, in *La formation initiale des professeurs des écoles en sciences et technologie*, Documents et travaux de recherche en éducation, INRP, 61-66.
- ORANGE C. (2002) *L'expérimentation n'est pas la science*, Cahiers pédagogiques, **409**, 19-20.
- ORANGE C.& PLE E. (coord.) (2000) *Les sciences de 2 à 10 ans*, Aster, **31**,INRP.
- PLE E. ( 1995) *Objectif-Obstacle et gestion du conflit socio-cognitif : difficultés liées à la reprise d'un dispositif flexible*, In *Actes du 5ème séminaire national de recherche en didactique de la physique*. Reims.
- PLE E. (1997) *Transformation de la matière à l'école élémentaire : des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles*, Aster, **24**, 203-229,INRP.
- REY B. (1998) *Savoir scolaire et relation à autrui*, In Cahiers pédagogiques, **367-368**
- VERIN A. (1996). *Mettre par écrit ses idées pour les faire évoluer en sciences* , in *Repères INRP*,**12**,
- WALLISER B. (1977) *Systèmes et modèles.*, Le Seuil, Paris.