

**ACTES DU 1^{ER} CONGRES
DES CHERCHEURS EN EDUCATION**

24-25 mai 2000, Bruxelles

**L'ABUS DES MODELES SCIENTIFIQUES PEUT NUIRE A
LA SANTE**

Pasquale NARDONNE et Serge PAHAUT
Faculté des sciences - ULB

Ministère de la Communauté française

*Colloque organisé sous la présidence de Françoise DUPUIS,
Ministre de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche scientifique*

Résumé

La description du matériel présenté comme expérimental dans des ouvrages didactiques de niveau élémentaire rédigés à divers moments du XX^{ème} siècle suggère que ce matériel a subi une évolution liée à celle qu'a connu la formulation de la physique académique.

En particulier, le statut des modèles, êtres intermédiaires situés entre le règne l'expérimental et le règne théorique, a connu une évolution remarquable, qui les éloigne dangereusement de la pratique expérimentale. Loin de constituer une tactique vouée à coincer les phénomènes dans un cas de figure expérimental favorable, le modèle est devenu, jusque dans les manuels, un support intuitif pour introduire à la spéculation sur des relations théoriques. Les auteurs tentent de montrer comment cette évolution hypothèque la mise en œuvre des approches expérimentales en honneur aujourd'hui. Ils donnent un exemple de modélisation "en situation", qu'ils estiment plus utile dans les situations d'apprentissage.

1. Introduction

Ce texte tente de mettre au point la portée de quelques conclusions obtenues à la suite de divers travaux sur la place des sciences à l'école élémentaire et secondaire, menés dans le cadre du département de physique de l'Université Libre de Bruxelles.¹ Le lecteur verra que les universités ont une part de responsabilité dans la situation confuse que connaissent aujourd'hui les activités dites "sciences et techniques" à l'école. Nous tenterons donc de tirer au clair quelques éléments de la relation entre l'université et l'école.²

Notre approche a été plus culturelle que pédagogique: nous avons procédé à une analyse de contenu d'un corpus de matériel mis en circulation dans les écoles: manuels, ouvrages de vulgarisation, fiches pédagogiques, etc. En particulier, nous avons tenté de prendre au sérieux les modèles tels qu'ils sont présentés dans ces documents.

On verra ainsi que l'histoire des idées académiques du XX^{ème} siècle est présente dans le matériel d'initiation aux sciences et aux techniques qui circule de fait dans les écoles maternelle et élémentaire. Nos analyses pourront paraître rudes. Il nous a semblé souhaitable de mettre clairement en valeur une perspective que nous proposons au regard du lecteur.

Nous pensons en effet que l'entrée de la civilisation scientifique et technique dans les écoles constitue d'abord un *fait nouveau*.³ Si cette entrée est souvent difficile, si elle présente des aspects paradoxaux, et quelquefois contradictoires, nous ne croyons pas qu'il s'impose en droite raison d'y voir les signes d'une crise générale des valeurs scientifiques et techniques.⁴ Au contraire, et si simpliste que cela puisse paraître, il est à notre avis décisif de proposer un autre point de vue: nous entrons dans une époque nouvelle.

2. Le problème posé

L'école doit apprendre aux enfants à lire, à écrire et à calculer. Ces demandes ont depuis longtemps reçu traductions et réponses. De nouvelles demandes ont surgi au cours du XX^{ème} siècle, par exemple pour l'apprentissage des langues.⁵

On ajoute aujourd'hui: il faut aussi des sciences et des techniques. Cette demande soulève la question de la définition des objectifs assignés à l'école: quelles connaissances, quelles compétences scientifiques et techniques souhaitons-nous voir développées dans l'école?

Les enseignants sont en droit d'espérer que les scientifiques répondent à ces questions. Les maîtres et les maîtresses d'école sont peut-être très loin de la science, comme le dit un discours répandu; mais ils vivent trop près des scientifiques et des techniciens pour ne pas être contaminés par des courants d'idées dont nous verrons que certaines peuvent à l'occasion s'avérer quelque peu toxiques.

L'effet, prédictible, d'un rapprochement mal négocié entre l'école et les universités rappellera aux plus naïfs les conséquences de la diffusion intempérante des discussions académiques menées à propos de l'apprentissage de la lecture et du calcul: querelles de mots ou de doctrine, incertitudes sur la pratique du métier et démissions en chaîne.

On demande aux enseignants de stimuler l'éveil à l'approche expérimentale. Cette demande est aujourd'hui moins explicite dans ses objectifs que celles qui portent sur la langue et le calcul. Mais on voit qu'à l'instar de celles-ci, elle met en valeur des *pratiques* plutôt que des *connaissances*. Elle évoque la démarche plus que les contenus. L'introduction des sciences et des techniques dans l'école passe ainsi par un refus multiforme, tourné contre la science encyclopédique qui écrase, la science-spectacle qui assourdit, etc.

De si bonnes intentions devraient être suivies d'effet. Or, des obstacles à ce jour insurmontables barrent la route des enseignants.⁶

Nous avons sans grand mérite pu en cerner un, lié à un vécu bien connu: il s'agit de la peur de mal faire, de ne pas pouvoir réaliser une expérience *correctement*, c'est-à-dire telle que décrite dans un ouvrage considéré comme pratique puisqu'intitulé *manuel*. En droit, pensent de nombreux enseignants *l'expérience ne devrait pas rater*. Nous serions heureux que le lecteur voie avec nous ici la traduction pervertie d'un énoncé crucial de la démarche expérimentale: *l'expérience ne trompe pas*. On verra plus loin que l'enseignant a souvent le tort de croire l'écrit qu'on lui propose, lequel fait dès lors écran à la pratique expérimentale proprement dite.

Corrélativement, on constate chez les enseignants une tendance à ne pas oser affirmer haut et fort des faits constatés, parce qu'ils paraissent *trop simples*. L'affirmation: "un élastique s'allonge quand on tire dessus" présente un statut scientifique expérimental plus clair et plus fort que "la pomme tombe parce que la Terre l'attire"; mais celle-ci passera pour *plus scientifique*. Il est temps que l'on réalise que l'introduction aux bases du savoir dit sérieux risque fort de tourner à la mystification.

Cette petite phénoménologie rapide des objectifs et des obstacles permettra sans doute au lecteur de ne pas perdre en cours de route le but des analyses que nous allons présenter. Réhabiliter l'expérimentation, comme le veulent de nombreux protagonistes contemporains, c'est fort bien. Mais il faudra lui faire sa place, et cela supposera quelques révisions déchirantes sur certains objectifs à tort considérés comme acquis.

3. Rappels ou prolégomènes historiques

3.1. Apparition du dialogue expérimental

Les divers rôles que les sciences et les techniques jouent dans l'enseignement correspondent à un ensemble de développements historiques assez mal connus, que l'on résume souvent en disant que l'école s'adapte à une civilisation scientifique et technique en évolution rapide. Cette image simpliste a l'avantage de rappeler que la place des sciences et des techniques n'est pas acquise. Si nous rencontrons des difficultés, c'est parce que les problèmes posés sont pour une large part nouveaux; cette remarque optimiste ne doit pas dispenser de jeter un coup d'œil sur le passé.

Depuis quelques siècles, les interactions entre sciences (descriptives) et techniques (pratiques) se sont accélérées, et la visibilité des sciences pures a diminué d'autant.⁷ On résume souvent cette évolution en disant que la science s'est voulue efficace, en prise sur le réel. C'est en tous cas désormais un fait globalement acquis: l'expérimentation, entreprise de vérification pratique, est devenue la voie d'information première.

On a donné à l'expérimentation de nombreuses interprétations; à force de discussions sur sa portée et son rôle, son image s'est en gros stabilisée. Nous pouvons donc nous contenter d'en dire quelques mots.

3.2. Apparition de la dualité théorie/expérimentation

L'expérimentation présente aujourd'hui l'allure d'un échange complexe de signaux entre deux sources d'information aux contours flous: *l'objet sous manipulation* d'un côté; et de l'autre *les représentations que l'on construit* pour rendre compte des propriétés dudit objet.

Cette image évoque d'abord un dialogue, une circulation de messages entre réalité et modèle, ou, pour rejoindre les caricatures philosophiques, entre *réalité objective* et *modélisation subjective*.⁸ Il s'agit là d'une description délibérément syncrétique, puisqu'elle présente sous un seul regard des perspectives qui se donnent souvent pour incompatibles.

Si nous tentions de développer cette esquisse, ses défauts n'en deviendraient que plus apparents, et il faudrait introduire ces considérations plus nuancées; elle suffira à notre propos.

3.3 Usages publics de cette dualité

Nos sociétés projettent désormais leurs préoccupations sur ces deux versants, "objectif" et "subjectif", de l'activité scientifique.

En fonction des besoins idéologiques de l'heure, certains peuvent préférer rendre hommage aux technologies, aux machines, aux réalisations grandioses: électrification des villes, téléphone et transmissions, fusées et satellites, ordinateur, accélérateur de particules, etc. Dans d'autres circonstances, certains peuvent préférer mettre l'accent sur le "génie humain" mis en œuvre dans les "percées théoriques": électromagnétisme, relativité restreinte et générale, mécanique quantique, unification des interactions physiques fondamentales, irréversibilité... pour ne citer que quelques cas typiques.

Ces deux manières de raconter l'histoire ne nous intéressent pas ici; mais elles ont exercé une influence majeure sur diverses modes de présentation de la science à l'école, que nous avons été amené à distinguer. Il convenait donc d'en dire deux mots par manière d'introduction. En effet, la tension entre observation réaliste (qui permet la description naturaliste) et construction de modèles (qui permet la formulation de théories) figure, comme nous allons le montrer, au cœur des problèmes que l'on rencontre dans la pratique pédagogique.

4. Evolution des manuels au cours du xxème siècle

Il convient d'observer que le plus souvent dans la présentation des acquis techniques ou intellectuels les écoles, les musées et les éditeurs prennent souvent un parti qui n'est pas de viser une meilleure compréhension des connaissances et des pratiques, mais de faire œuvre de promotion de certains résultats dits essentiels, que l'on veut porter à la connaissance du public, ce qui est tout autre chose. Cette priorité est compréhensible. Mais on constate que des choix de ce type, touchant donc la présentation de la science qui mérite d'être racontée, ont influencé la forme et le contenu de ce que l'on présente dans l'enseignement secondaire, et a par contre-coup justifié le peu d'intérêt que l'on a porté à l'introduction de la science à l'école primaire. Cette forme et ce contenu ont considérablement évolué dans les programmes et les manuels du cours du XXème siècle.

Nous avons tenté une analyse critique des manuels et des ouvrages de vulgarisation, des programmes scolaires, des divers modes d'évaluation des résultats. Un des buts de cette phase de notre recherche a été la mise en évidence, dans les manuels et les ouvrages de vulgarisation du XXème siècle, d'une évolution de la présentation de l'interaction *modèle-réalité* évoquée ci-dessus.

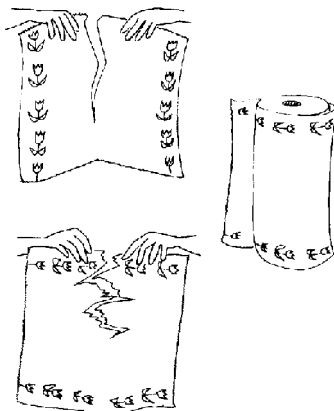
Sur un échantillon de quelques dizaines de publications, nous avons pu observer un glissement cohérent, qui atteste donc une tendance, d'un mode de présentation à un autre. Au cours du XXème siècle, les manuels scolaires et les ouvrages de vulgarisation passent très nettement d'un style de représentation que nous appellerons ici réaliste, qui montre un objet tel qu'il est dans son environnement concret, vers une représentation, que nous dirons idéaliste, et qui ne montre que des relations entre propriétés choisies du ci-devant objet, lequel n'existe plus désormais que tel qu'il doit être pour vérifier un modèle théorique.

Pour le dire en résumé, cette évolution, qui aboutit à ne plus guère présenter aux lecteurs ou aux élèves, en guise d'observation de la réalité, que ce que les physiciens appellent expérience imaginaire (*gedanken experiment*), est responsable d'un dérapage qui avec le temps peut devenir préoccupant, dans la mesure où il conduit à instaurer des ruptures irréparables, propres à dénaturer des sciences naturelles comme la physique, la chimie et la biologie. Nous donnons ici quelques cas particulièrement clairs.⁹

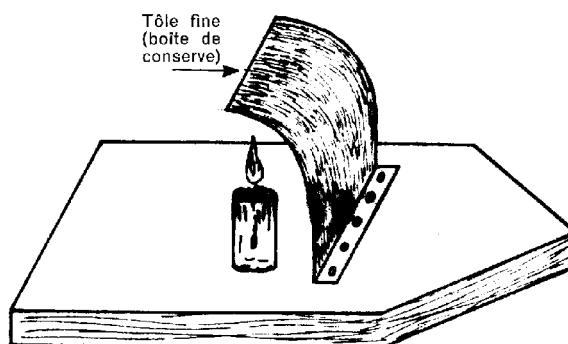
Réalisme: Un enfant essaie de soulever un livre. Il s'y prend mal, son levier est mal placé.¹⁰ Pareille situation se passe de commentaires en un premier temps. Mais elle doit être bien vue, pratiquée, répétée, variée, etc.



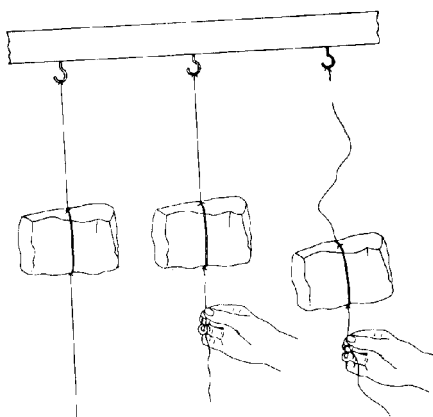
Faux réalisme: on prétend se servir d'un papier de ménage pour suggérer ce que sont les lignes de clivage des cristaux.¹¹ On remarquera d'abord que les cristaux ne sont pas tous minuscules (certaines fractures sont donc accessibles à l'expérience directe). De plus, ce papier ne se déchire pas du tout comme un cristal: sa texture n'est pas isotrope, et il existe des directions privilégiées pour le déchirement, mais la comparaison s'arrête là.



Montage impraticable: Cette expérience est typique de la littérature de manuel: recopiée de livre en livre, et peut-être quelquefois "récupérée" et corrigée en pratique par un bricoleur habile. Telle que présentée sur la fiche pédagogique où nous l'avons recueillie,¹² elle est pratiquement impossible à mener à bien.



Fausse expérience: On voit à gauche une pierre suspendue à une ficelle fragile. Au milieu, une traction par secousse brève casse la ficelle sous la pierre. À droite, une traction continue casse la ficelle au-dessus de la pierre. La manipulation est praticable, mais la relation physique sous-jacente (qui met en jeu la masse inertielle de la pierre) est loin d'être explicable intuitivement. Elle ne montre donc rien.¹³



Dans les documents que nous avons examinés, le glissement que nous venons de résumer indique à un passage généralisé du *dessin naturaliste* vers le *schéma abstrait*, avec les conséquences suivantes:

4.1. Archaïsme:

Pour diverses raisons, que nous n'avons pas à développer ici, les ouvrages examinés n'ont pas suivi l'évolution technique de la société qui leur était contemporaine, et ont manifestement développé ce que les spécialistes appellent une tradition de manuels, qui ne retient que certains chapitres des sciences considérés comme fondamentaux, ce qui leur permet de reprendre entre eux les exemples et les problèmes que rétrospectivement nous pouvons considérer comme populaires chez les auteurs.

Par suite, les objets choisis pour illustrer les cours sont de moins en moins représentatifs d'une autre population, celle des objets techniques contemporains des élèves. Un fossé s'est ainsi instauré progressivement entre les sciences et les techniques telles qu'elles se développent à l'extérieur de l'école, et celles qui existent désormais de la vie éternelle que leur assurent les manuels: telles qu'en elles-mêmes les livres les filtrent et les présentent.

Il est tentant de voir ici une des raisons de la pertinence d'un reproche souvent formulé contre la science enseignée à l'école: il s'agirait d'une science morte, inutile, enseignée pour former l'esprit et non pas pour équiper les élèves d'outils en prise sur la réalité.¹⁴ Au terme de cette évolution vers les sciences mortes, nombreux sont ceux qui sont tentés de croire que l'école n'est plus le lieu privilégié de l'apprentissage, qu'elle laisse ainsi à d'autres canaux culturels: publicité, cinéma, télévision, le réseau internet, le parascolaire, les ouvrages d'information, qui remplacent les ouvrages de vulgarisation, etc.

4.2. Mathématisation

L'appauvrissement évoqué ci-dessus conduit les enseignants qui lisent les manuels à privilégier le modèle, voire à ne plus enseigner que celui-ci. Ce glissement est d'autant plus insidieux que la modélisation implique une simplification extrême, qui se traduit par l'utilisation systématique de mathématiques élémentaires.

Il est instructif à ce sujet de comparer le contenu mathématique des cours de physique, de chimie et de biologie.

- La physique enseignée est souvent assimilée, chez les étudiants mais aussi chez les enseignants, à un jeu d'équations.¹⁵ Dans ces conditions, peu nombreux sont ceux qui la voient encore comme une science de la matière ou de la nature.

- La chimie enseignée est elle aussi depuis longtemps parasitée petit à petit par cet effet pervers de l'usage des modèles. Les indices de cette évolution sont mal reconnus, et il n'est pas inutile de les reprendre ici brièvement: abandon des descriptions de processus de fabrication; abandon de l'utilisation des noms familiers des ingrédients et des produits; abandon de l'expérimentation; préférence donnée à l'approche calculante: stœchiométrie présentée de manière abstraite, calculs de concentrations, calculs de pH, calculs de couches électroniques, d'état d'oxydation, etc.

- La biologie est aussi soumise à cette dénaturation en raison du rôle grandissant de la présentation des résultats mathématisés: génétique (combinatoire, langages), biologie moléculaire (schémas logiques), ou santé publique (statistique, probabilités...).

Ce mode de présentation, qui n'apporte rien à l'enseignement des mathématiques elles-mêmes (ni pour la forme ni pour le contenu), a de plus permis à l'institution scolaire, qu'on l'ait consciemment voulu ou non, de donner aux charges d'enseignement des professeurs une spécificité disciplinaire moins grande, et donc de disposer d'une souplesse plus large dans l'affectation des cours. C'est ainsi que l'on trouve de la mathématique enseignée par des physiciens, de la physique enseignée par des chimistes, etc.

4.3. Simplisme

La concentration exclusive de l'attention sur le modèle permet d'éviter toute référence à la réalité. Disparaissent ainsi les aspects complexes et contextuels, qui sont pourtant intrinsèquement liés à l'élaboration pratique du modèle; en effet, savoir quelles approximations, quelles circonstances idéales-limites, doivent être remplies pour valider le modèle fait intégralement partie de la construction d'un concept théorique.

Osons dire par exemple qu'il devrait être impossible de parler du mouvement inertiel sans faire référence à sa non-existence pragmatique. Ce simplisme conduit ceux qui n'ont pas bénéficié d'une formation physique poussée à donner une réalité objective à des énoncés pourtant purement liés à des modèles abstraits, comme l'équation du climat.

4.4. Fixité

Le modèle *séparé* a nécessairement une vie moins riche: il vivote, répété d'une compilation à une autre.¹⁶ Comme la contrepartie expérimentale n'existe plus, la modélisation va engendrer des réflexes fixistes dangereux pour les élèves.

Pour l'étudiant, les lentilles ne sont souvent que ces doubles flèches tracées sur le schéma d'optique géométrique qui présentent un axe optique horizontal. L'objet-source de lumière ici est cette flèche qui n'a ni épaisseur ni largeur, et qui se tient toujours perpendiculaire à l'axe optique. Cette fixité fonctionnelle est peu conciliable avec les objectifs assignés à notre enseignement: former des citoyens responsables, imaginatifs et capables de poser des choix en toute connaissance de cause.

4.5. Erreur

Cet écart progressif (et parfois définitif) entre les réalités et les modèles peut même conduire à des erreurs franches. L'excès de simplification, nécessaire à la clarté conceptuelle et/ou nécessaire à la simplicité de la procédure de calcul, induit des schémas qui répondent sans doute à certains besoins d'une variante du modèle, mais auxquels rien ne correspond dans la nature. Comme ce cube flottant que l'on rencontre dans les manuels, et que pour simplifier le calcul de la poussée d'Archimède les auteurs veulent voir flotter avec sa face supérieure parallèle à la surface de l'eau, alors qu'aucun cube en bois plongé dans l'eau ne peut flotter ainsi. De nombreux exemples de science dite élémentaire sont tout aussi faux.

5. Le modèle en situation

5.1. Situation

Ces enfants jouent aux billes. Nous allons montrer comment l'exploration peut leur apprendre à saisir des événements quelconques, remarquables, rares, ou quasi-symboliques.

Les chocs entre billes sont des événements. À l'occasion de ces événements, certaines billes changent de place et de vitesse.

Certaines billes ont au départ une vitesse nulle (elles sont immobiles), et d'autres ont au départ une vitesse plus ou moins grande, et orientée dans tel ou tel sens. Si une petite bille arrive tout droit au beau milieu d'une grosse bille, on voit la petite bille repartir en arrière, tandis que la grosse bouge à peine.

5.2. Variations

Comment cet événement varie-t-il si les masses sont différentes? Par exemple, si une grosse bille vient bousculer une petite bille? Nous pouvons constater que certains chocs ont un résultat plus parfait que d'autres: lorsqu'une bille frappe une autre au beau milieu, en la cognant de front.

Dans d'autres cas, le choc est moins propre, la seconde bille part en tournoyant de manière compliquée, et l'on ne sait plus trop quoi penser. Ce type d'événement est peut-être propice au rêve, mais peu utile pour expérimenter.

5.3. Contrôles

Pour conduire une expérience sans compliquer inutilement le travail, l'expérimentateur renoncera le plus souvent à s'efforcer de viser très juste pour envoyer une bille de plein fouet sur une autre.

Au contraire, il bloquera les variations du jet de la première bille sur la seconde, en contraignant cette première bille à rouler sur un chemin forcé; par exemple, il la fera rouler à l'intérieur d'une petite rigole en plastique; ou le long d'un mur, etc. On contraint ainsi la direction des billes; il ne reste donc à contrôler que leur masse, le sens de leur mouvement et leur vitesse; c'est déjà beaucoup.

5.4. Séries d'événements et comparaisons

Une fois le système ainsi épuré, il sera plus facile de comparer des cas qui diffèrent "toutes choses égales par ailleurs".

Une petite bille vient heurter une grosse bille immobile: la grosse bille bouge à peine, et la petite recule.

À l'inverse, si une grosse bille vient rouler contre une petite bille immobile, deux conséquences différentes se produisent. La grosse bille ne repart pas en arrière; elle continue sur son chemin à peu près aussi vite qu'avant le choc. Quant à la petite bille, elle est projetée à toute allure en avant de la grosse, qu'elle distancie rapidement: elle part avec une vitesse plus grande.

On peut alors concevoir un *troisième cas*, qui se produit à la limite entre les deux autres, et envisager par l'imagination et le raisonnement ce qui devrait se passer alors.

Cette troisième expérience ressemble aux deux autres: une bille vient rouler contre une bille immobile. Elle diffère sur un point: les billes ont ici la même grosseur. Nous avons vu dans le premier cas la petite bille "assaillante" repartir en arrière, et la grosse bille "assaillie" s'ébranler lentement vers l'avant. Nous avons vu dans le second cas la grosse bille "assaillante" continuer son chemin, à peine ralentie par le choc, tandis que la petite bille "assaillie" file en avant à plus grande vitesse.

5.5. Modélisation

Il est *imaginable* que dans le troisième cas, où les causes ont des valeurs intermédiaires (la bille assaillante est ni plus ni moins grosse que la bille assaillie), les valeurs des effets seront elles aussi intermédiaires. La bille assaillante ne recule pas et ne poursuit pas son chemin, elle s'arrête sur place et demeure immobile; la bille assaillie part dans le même sens que la première et à la même vitesse.

L'expérimentation permet de conjecturer que ce modèle est bon. Il y aura bien toujours l'un ou l'autre défaut dans les valeurs observées. Mais nous sommes partis cette fois d'une idée, d'un modèle du système; et ce fait nous incite à conclure que le modèle est bon même si les valeurs observées dans l'expérience ne sont pas parfaites. Le cas idéal envisagé suppose deux billes parfaitement du même poids qui se cognent frontalement: il n'en va ainsi dans la pratique.

Le travail de modélisation permet de reconnaître le caractère approximatif de l'expérience pratique, et conduit à privilégier le caractère dogmatique de la loi énoncée. C'est dans ce privilège que se construit la théorie physique. Les ingénieurs et les savants chipotent, discutent et se trompent souvent. Il faut des séances nombreuses, où le travail souvent relève du bricolage, pour isoler les divers aspects de ce qui est en jeu dans l'interaction sous étude: poids? densité? vitesse? dureté? et pour apprendre à modifier de façon claire les valeurs de la propriété que l'on veut modifier.

6. Exploration et modélisation

Les enfants très jeunes sont sans doute sensibles aux processus susceptibles de figurer dans leurs jeux. Le jeu présente depuis longtemps des configurations d'événements déjà abstraits, susceptibles d'une intervention didactique.¹⁷ À ce titre, les sciences d'observation élémentaires peuvent emprunter à divers objets familiers.¹⁸

Mais le jeu n'est pas qu'abstrait. Il est aussi sérieux à sa manière: il pousse les situations aux extrêmes, sans hésiter. Reprenons ici quelques remarques de Marc Richelle en hommage à Gilbert De Landsheere:¹⁹ avec la notion de déséquilibre, la dialectique du développement proposée par Piaget (particulièrement développée durant la dernière phase de sa carrière), fait une place centrale aux variations, «variations novatrices » à l'oeuvre d'un bout à l'autre du vivant, «du plan élémentaire des mutations au plan supérieur des théories scientifiques». La psychologie de l'apprentissage rejoint ainsi l'étude des comportements exploratoires, comme celle des conduites ludiques, qui manifestent, les unes comme les autres, la tendance des êtres vivants à entretenir à un certain niveau des activités dont la fonction n'apparaît pas immédiatement.

Il n'est pas certain que l'apprentissage soit une adaptation à la connaissance de la réalité, une manière d'observer "en faisant plus attention".

Les modèles, en tous cas, s'avèrent quelquefois trompeurs quand ils sont sollicités pour nous renseigner sur le monde; et souvent ils détournent notre attention vers des relations théoriques désincarnées. Nous avons montré en revanche qu'ils peuvent servir, dans la pratique du scientifique comme à l'école, à traquer un processus dans ses divers cas de figure.

L'usage tactique du modèle proposé ici rompt avec une tradition qui y voyait un outil bien construit, c'est-à-dire adapté à ses fins, qu'il s'agisse de visualiser des relations théoriques ou de faciliter la seule adaptation fonctionnelle ou pragmatique aux exigences de la réalité ou aux finalités de l'agir pratique.²⁰

L'univers scientifique et technique dense dans lequel nous entrons est riche de ce type de surprise: en cours de route, de nombreux outils changent, et modifient jusqu'aux buts que l'on croyait s'être donnés de premier abord. Ce ne sont donc pas des outils.

Il en va de même du modèle. Il relève du jeu d'une liberté exploratoire dont les ressources industrielles ne sont pas naturelles aux enfants, et doivent donc s'apprendre. L'expérience, conduite dans cet esprit, peut quelquefois décevoir; mais elle ne rate pas. En ce sens, les idées d'exploration et d'enquête sur indices méritent toute l'attention des scientifiques, des didacticiens et des psychologues.²¹

Références

- ASCHER, M. (1998). *Mathématiques d'ailleurs. Nombres, formes et jeux dans les sociétés traditionnelles*. (tr. fr. de *Ethnomathematics*, Wadsworth 1991).
- CHEMLA K. et PAHAUT S., "Objets et artefacts : les sciences de la culture", Encyclopédie philosophique, Paris, PUF 1989, pp. 953-958.
- FOUREZ, G. (1994). *Alphabétisation scientifique et technique. Essai sur les finalités de l'enseignement des sciences*.
- ICEM (1973). *Fiches de travail coopératif* développées dans le cadre du mouvement Freinet.
- JOLLY, R. (1946). *Les leçons de choses et les exercices d'observation*, Paris: Nathan.
- PIAGET, J. (1974). *Adaptation vitale et psychologie de l'intelligence*. Paris, Hermann.
- Ratio Studiorum*, Édition et commentaires de Demoustier A., Julia D., Albriex L., Pralon-Julia D. et Compère M.-M., Paris, Belin 1997.
- RICHELLE, M. (1986). "Apprentissage et enseignement, réflexion sur une complémentarité", in : Crahay et Lafontaine, *L'art et la science de l'enseignement*. Volume d'hommage à Gilbert De Landsheere, Bruxelles, Labor (pp. 232-249).
- STEPHENSON *et alii* (1974). *Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences*, Paris, Unesco.
- VanCLEAVE, J. P. (1991). *Earth science for every kid*, New York, Wiley.

¹ Nous remercions ici les diverses instances belges qui nous ont aidées à mener à bien les travaux dont présentons ici quelques résultats, en particulier l'Administration générale de l'*enseignement et de la recherche scientifique* du *Ministère de la Communauté française Wallonie-Bruxelles*, qui nous a aidé à mener ces recherches à bien (références 28/97 et 290/97), et à nouer des contacts utiles avec les milieux responsables de l'enseignement, ainsi que le *Conseil de l'éducation et de la formation*, organe consultatif dont les dossiers nous ont permis de rencontrer divers courants d'initiatives actifs dans les institutions et les associations intéressées.

² Depuis la création des IUFM, de nombreuses initiatives significatives ont dynamisé cette relation. Nous pensons qu'il est temps d'aider cette évolution à trouver son but.

³ L'humanisme (surtout littéraire) du XVI^{ème} siècle n'a pas investi les écoles en un jour, et les historiens savent combien il a pu prendre de voies particulièrement obliques; nous mentionnons parmi les références une récente réédition du *Ratio Studiorum*. Aujourd'hui de même, un vaste courant brasse les écoles à travers monde, et les sollicite de rencontrer de nouvelles valeurs et de nouvelles pratiques.

⁴ Nous ne discutons pas ici cette lecture des changements culturels en termes de crises. Elle a beaucoup apporté aux discussions sur l'histoire et à la philosophie des sciences; elle pourrait inspirer des généralisations incontrôlables dans l'opinion que chacun est en droit de se faire sur la qualité de l'enseignement tel que défini par des conventions publiques.

⁵ L'école a longtemps tenté d'introduire les enfants aux langues dites de culture; elle enseigne aujourd'hui les langues de communication.

⁶ Nous ne voulons pas méconnaître les tentatives de renouveau en cours, dont le lecteur sait tout l'intérêt. Mais nous tenons à mettre au clair le prix qu'il faut payer pour développer les implications de la volonté d'introduire à l'école une approche expérimentale.

⁷ Le prestige de disciplines "gratuites" comme l'astronomie ou la science des nombres n'est plus ce qu'il était. Elles occupent encore une place considérable dans la conversation courante; mais leur statut a changé. Nous ne pouvons naturellement pas développer ici ces signes de changement de civilisation.

⁸ La formulation d'hypothèses prédictives et la prise en compte de mesures expérimentales dans la reformulation des relations d'un modèle descriptif sont des messages typiques du dialogue expérimental.

⁹ Nous ne donnons ici que quelques exemples. Il faut ajouter que nombre d'expériences dites didactiques relèvent en fait de tours d'illusionniste ou d'exploits de bricoleur ingénieux, et non pas de la constatation directe d'effets naturels mal connus.

¹⁰ Jolly p. 51.

¹¹ VanCleave 1991, p. 41.

¹² Fiches Freinet (ICEM 689).

¹³ Stephenson 1974, p. 134; le livre ne donne pas de commentaire. Le manuel de l'Unesco a par ailleurs rendu d'immenses services; il devait servir à des adultes compétents et dépourvus de matériel didactique spécialisé.

¹⁴ Nombreux sont ceux (parents et élèves) qui pensent que cette science sert d'abord à sélectionner les bons élèves. Cette discussion est difficile; il est remarquable qu'elle présente un parallélisme avec celle qui accompagne l'enseignement des langues.

¹⁵ Dans certaines écoles, l'option dite physique forte n'est autorisée aux élèves que si elle s'accompagne du choix dit mathématiques fortes.

¹⁶ C'est le statut des âmes au purgatoire.

¹⁷ On sait que la psychologie animale, comme la psychologie cognitive, ont fait justice d'idées fausses comme celle qui veut que les enfants baignent dans un univers concret. Les stimuli les plus puissants sont souvent schématiques; et de nombreuses activités enfantines n'en connaissent pas d'autres.

¹⁸ Catapultes à levier ou à élastiques; chute d'objets poussés vers le bord d'une table; papiers pliés, collés, pâte à modeler, canifs lancés en terre... nombre d'objets qui intéressent les enfants sont peu naturels. Le dialogue des sciences avec les intérêts des apprenants n'est donc pas seulement psycho-pédagogique; il sera aussi culturel, et passera par une recension de ces objets, qui sont souvent hérités de traditions culturelles diverses. En mathématique, nous disposons déjà du travail de compilation de Marcia Ascher (1998) sur les *mathématiques venues d'ailleurs*, souvent présentes dans les jeux. Une compilation du même type consacrée aux sciences expérimentales reste à définir —et à entreprendre.

¹⁹ Richelle 1986, pp. 244 sqq; voir Piaget 1974.

²⁰ À cette nuance près, nous rejoignons sur de nombreux points le travail richement documenté et bien structuré de l'équipe d'auteurs animée par Gérard Fourez (1994), dont les analyses historiques sur l'enseignement des sciences et des techniques au XX^{ème} siècle garderont longtemps leur actualité et leur pertinence sociale.

²¹ Les *indices*, on le sait, ne donnent pas toute la réponse, mais ils pointent une piste. Ce marquage aveugle d'une famille de directions caractérise leur intervention dans le système de décision et de communication que constitue une enquête. D'autres types de signes évoquent par analogie une situation de départ déjà connue, et dont les tenants et les aboutissants sont plus familiers: les *images* plus ou moins confuses qu'ils nous permettent de réactiver sont plus stimulantes, et souvent plus trompeuses, que les indices. Enfin, des règles de décision bien définies permettent de mener un calcul à l'aide de notations plus ou moins adaptées, et d'évaluer par avance le résultat de telle ou telle exploration. Ces *symboles* dépendent en pratique d'un univers de conventions librement souscrites et orientées vers le futur des relectures possibles. La pratique de ces trois classes de signes (*images*, *indices*, *symboles*), reconnues voici plus d'un siècle par Ch. S. Peirce, permet aux personnes engagées dans un parcours d'apprentissage de reconnaître, de baliser et de relire les étapes rencontrées; voir à ce sujet Nardone P. et Pahaut S., 1998a, pp. 56 sqq.; Chemla K. et Pahaut S., 1989. Elle fonde l'historicité des pratiques symboliques, tissées de relectures et de récritures plus ou moins heureuses.