

## **LA MATIERE, COMMENT C'EST FAIT ?**

### **REPRESENTATION DES ELEVES ET PRESENTATION DES MANUELS**

(deuxième partie : présentation des manuels)

Daniel BAIN

François BERTRAND

Centre de recherches psychopédagogiques du cycle d'orientation genevois

Laboratoire de didactique et épistémologie des sciences

Université de Genève

#### **III – COMMENT LES MANUELS PRESENTENT LA STRUCTURE DE LA MATIERE.**

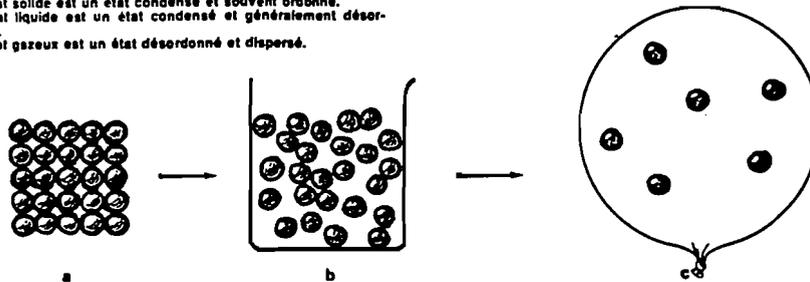
Frappés par le décalage ou la distance entre les images mentales d'une partie des élèves et les images, symboles, schématisations ou modèles proposés par les manuels, nous avons décidé d'analyser un échantillon (une quarantaine) d'ouvrages pédagogiques et de vulgarisation destinés à des débutants (enseignement secondaire et adultes) édités au Canada, en France, en Belgique et en Suisse (cf. bibliographie in fine).

Nous exposerons les résultats de cette analyse sous forme de thèses, illustrées de quelques exemples.

##### **Simplification de la réalité.**

A la lecture des manuels, le monde du physicien, en l'occurrence de l'auteur de manuel, apparaît comme très abstrait, c'est-à-dire désinséré de tout milieu naturel, sans rapport avec des objets réels. Le contraste est frappant quand on compare certains dessins d'un ballon rempli d'air fait par des élèves de 7ème ou 8ème (présence de poussières, microbes, etc.) et la présentation de ce même gaz par les dessins et le texte des manuels, se limitant à quelques boules qui schématisent les molécules (cf. première partie figures 6 ou 10 et 35c). On ignore ainsi toute impureté ou irrégularité dans les corps ou matières étudiés.

Fig. 8. Les structures des trois états de la matière :  
 a. l'état solide est un état condensé et souvent ordonné.  
 b. l'état liquide est un état condensé et généralement désordonné.  
 c. l'état gazeux est un état désordonné et dispersé.



Il s'agit d'une simplification dont l'objectif est méthodologique et didactique : faciliter l'apprentissage de l'élève. En fait, cette opération de simplification est rarement annoncée comme telle par l'auteur, elle fait partie des nombreux implicites des manuels ; elle éloigne le sujet traité de l'expérience quotidienne et rendra d'autant plus difficile le réinvestissement des connaissances scolaires dans la vie de tous les jours.

Nous n'avons trouvé (sur 40 manuels) qu'une seule exception (modeste) à cette convention cachée : un manuel (Delaruelle et Claes, 1974, p. 259) signale que les métaux «présentent en outre les propriétés suivantes :

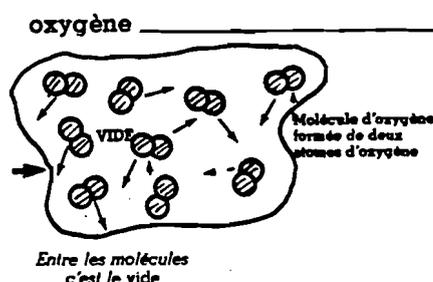
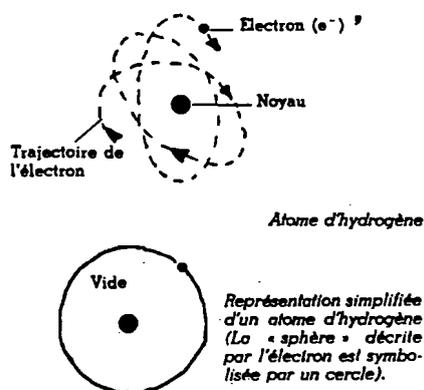
Ils sont poreux (... ) Dans un morceau de sucre, les pores sont visibles à l'œil nu ; ils ne le sont pas dans une barre de fer».

#### La discontinuité comme une évidence ?

Certains manuels (minoritaires, il est vrai) semblent considérer la structure particulaire, discontinue de la matière comme tout à fait évidente pour leurs lecteurs ; ils paraissent ignorer tout conflit possible avec une perception de continuité. Ils se contentent en effet d'énoncer, sans autre précaution, une vérité scientifique sous la forme canonique : «Tous les corps (...) sont faits de particules très petites ayant une structure propre ; ce sont des atomes» (Benoit, 1966, p. 226).

L'hypothèse de la continuité de la matière étant très prégnante chez certains élèves, il ne paraît pas superflu de préciser, comme le font deux manuels de la même collection (Michaud et Le Moal, 4ème, livre du professeur, 1983, p. 95 et Michaud et Le Moal, 3ème, 1980, p. 99, cf. fig. 36), que l'espace interparticulaire (symbolisé de façon ambiguë par un blanc) est vide et non rempli d'une matière interstitielle. Une telle image pourrait d'ailleurs être suggérée par la représentation des molécules sous la forme de modèles compacts.

## III - L'atome d'hydrogène



### Sériation des divers niveaux particuliers.

Notre enquête nous a montré que les élèves, même au niveau de la 8ème (après enseignement des chapitres électricité et chimie) ont de la difficulté à situer les unes par rapport aux autres les différentes particules dont on leur a parlé.

Pour plusieurs d'entre eux, d'ailleurs, le terme de particule lui-même doit faire problème. Les auteurs l'utilisent, sans le définir, à différents niveaux, aussi bien pour désigner un grain de poussière qu'un quark. Il n'est pas certain que tous les élèves saisissent qu'il est utilisé comme un élément neutre dans la sériation des corpuscules ; il est plus probable (cf. notre enquête, première partie de l'article) qu'ils l'assimilent à un synonyme spécifique d'atome ou de molécule, par exemple. Ce flou pourrait être facilement levé par une explication, à laquelle l'auteur (ou l'enseignant) ne pense pas toujours, à moins qu'il ne l'estime trop élémentaire.

La tâche de sériation de l'élève est compliquée par

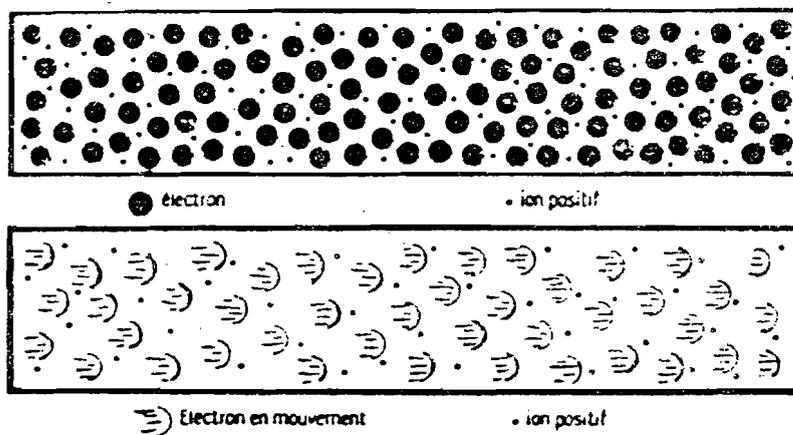
- les hésitations de certains auteurs quant à l'utilisation scientifiquement approximative de la terminologie particulière : est-il judicieux de parler d'atomes de gaz ou de métal (vs molécules ou ions), peut-on simplifier sans risque de confusions ultérieures ?

- le fait que, suivant les chapitres, les auteurs prennent comme particule élémentaire la molécule, l'atome ou l'électron ;

– les confusions introduites par la symbolisation figurative : on emploie le même signifiant, soit le cercle ou le point, pour symboliser les diverses particules allant du grain de poussière ou de fumée (mouvement brownien) à l'électron ; dans certains cas même, les rapports de grandeurs sont inversés pour mettre en évidence la particule dont on traite particulièrement (ex. Jodogne et Dessart, 1976, p. 223, figure 4 : l'électron grossi par rapport aux ions positifs dans un chapitre sur l'électricité, cf. figure 37) ;

– l'absence, dans le cours, de précisions sur certaines particules, dont les élèves ont entendu parler par ailleurs, d'où leur difficulté à les situer.

figure 37



Il apparaît donc nécessaire de fournir aux élèves, à certaines étapes de synthèse ou de regroupement des connaissances, l'occasion de reconstruire l'ensemble de la sériation. On peut signaler à ce propos un chapitre d'une brochure publiée par le CERN (Carreras et Hentsch, pp. 34-35) et proposant la construction d'une vache à partir d'électrons, de quarks u et de quarks d, en passant par le proton et le neutron, l'atome, la molécule, la cellule. «Et en assemblant judicieusement ces dernières, terminer la vache».

#### Relations inter ou intraparticulaires.

Le problème de la représentation des distances entre les particules semble diviser les manuels. Dans les solides, la plupart des modèles proposés présentent des cercles ou des boules (voire des carrés) qui se touchent. Mais des commentaires divers précisent, relativisent ou rectifient ces dessins :

«Au sein des solides les atomes (...) se «touchent». Cela signifie que la distance qui sépare le centre d'un atome de celui de son voisin est égale aux dimensions de l'atome lui-même» (I.P.S., 1969, p. 154). Le même manuel explique plus loin la compressibilité plus grande de certains solides par l'agglomération de leurs atomes en molécules séparées par des interstices (ex. les cristaux d'iode). Un autre ouvrage rectifie l'impression donnée par le dessin traditionnel de la nature particulaire des

solides, liquides et gaz en précisant : «Les espaces entre les particules sont beaucoup plus grands que les particules elles-mêmes. A cet égard la figure 4.15 fausse les perspectives, car les distances entre les particules sont en réalité beaucoup plus grandes». (Andrews, 1979, p. 90). Enfin des «Notes méthodologiques de physique-chimie» corrigent après coup des schémas relatifs à la structure de la matière en précisant qu'ils «ne sont pas corrects ; les particules ne doivent pas se toucher ; même dans un solide froid, il y a un espace entre les particules» (D.I.P., Neuchâtel, 1977, p. 10). Par ailleurs, les modèles dits compacts représentent les atomes «comme étant de petites sphères, qui à cause des forces interatomiques, peuvent pénétrer partiellement les unes dans les autres». (Delaruelle et Claes, 4ème, 1969, p. 54). Les auteurs de manuels livrant rarement les raisons des diverses conventions figuratives qu'ils adoptent suivant les chapitres, le lecteur aura quelque peine à se forger une représentation cohérente des relations interparticulaires.

Il risque d'avoir les mêmes problèmes pour se représenter les liaisons interatomiques (pour ne pas parler des liaisons intermoléculaires). Certains manuels, sur la même page, juxtaposent deux atomes pour symboliser une molécule ou les font s'interpénétrer, sans interpréter la convention figurative. C'est souvent aussi le cas dans les modèles dits éclatés, qui bénéficient rarement d'un commentaire explicatif. L'aspect symbolique des bâtons ou des «ponts» reliant les particules risque d'échapper à plus d'un élève (cf. première partie figure 34). Le caractère symbolique du ressort est peut-être plus évident.

#### Dimension de l'atome.

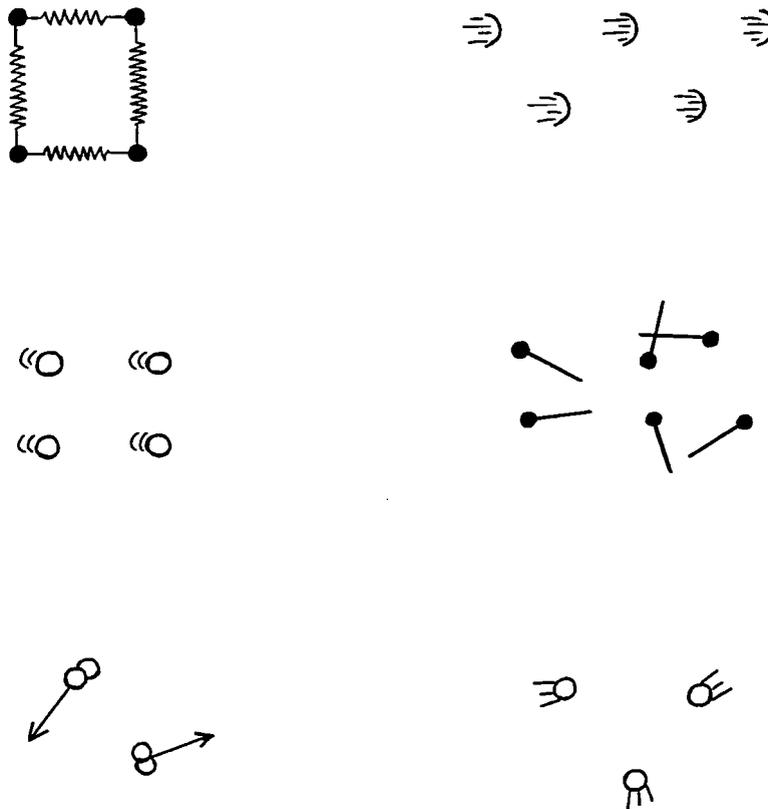
On retrouve à ce sujet des problèmes très analogues à ceux signalés au paragraphe précédent. On peut douter de l'efficacité de certains procédés utilisés pour suggérer l'infiniment petit. Le recours à des nombres ne sera illustrant que pour une minorité d'élèves. On pourrait fonder plus d'espoir sur les comparaisons, par exemple «... le nombre d'atomes (petites particules) contenus dans le corps humain est égal au nombre de pois verts qu'il faudrait pour couvrir 250.000 fois la terre d'une épaisseur de 1,5 m. Ça c'est petit !». On peut craindre l'inefficacité, sur le plan intuitif, de comparaisons passant par la référence à des objets macroscopiques, qui plus est, de grandes dimensions. D'autres comparaisons supposent des raisonnements proportionnels, peut-être pas aussi simples qu'on pourrait le croire ; exemple : un moucheron/lac Léman = fragment de cristal/photo agrandie 10 millions de fois (Faivre, 4ème, 1979, p. 12). Par ailleurs, les dessins censés illustrer ce raisonnement le trahissent en ne respectant pas (et pour cause) les proportions : le moucheron est aussi grand que le lac Léman (ou inversement !). Même problème pour la comparaison entre une noix et la terre (Saison, 4ème, 1979, p. 22).

### La représentation du mouvement.

On a vu que pour la plupart des élèves les particules élémentaires paraissent conçues comme immobiles. Ce type de représentation pourrait bien être renforcé par l'aspect statique des schémas proposés, en particulier pour les solides, dessins complétés par des légendes accentuant parfois encore cette impression d'immobilité lorsqu'elles précisent «les molécules restent fixes, sont pratiquement fixes, restent en place, forment un édifice compact et rigide». On rencontre cependant plus souvent, dans ce cas (en prévision du chapitre Chaleur ?), des correctifs : «Notons que les molécules formant le solide ne sont pas rigoureusement immobiles : elles vibrent autour d'une position d'équilibre» (Michaud et Le Moal, 3ème, 1980, p. 112).

La figure 38 illustre les différents procédés graphiques utilisés pour représenter le mouvement ; on y retrouvera des conventions couramment utilisées par les bandes dessinées pour suggérer la vibration ou le déplacement d'un objet. En revanche, l'adjonction d'une queue à la particule (Korn, 1960, p. 19) ne nous semble pas particulièrement adéquate, un tel trait étant souvent utilisé pour symboliser une liaison interatomique.

figure 38



### Symbolisation, modélisation.

Les obstacles signalés plus haut pourraient, pour certains, être évités par un choix plus judicieux des schémas, analogies ou symboles. Dans d'autres cas, ces problèmes sont probablement inévitables (il n'est pas toujours possible de respecter dans les dessins les rapports exacts entre grandeurs, par exemple).

Une telle entreprise de perfectionnement de l'approche et de l'efficacité figuratives nous paraîtrait d'ailleurs participer d'une épistémologie empiriste (largement partagée par les manuels, semble-t-il), comme s'il suffisait de bien organiser l'image ou le schéma pour obtenir une structuration interne des schèmes des élèves. Notre (pro)-position serait tout autre, plus constructiviste. En deux mots, elle consisterait à introduire ou impliquer chaque fois que possible l'élève dans la construction de symboles et de modèles, à l'initier ainsi à la symbolisation ou modélisation, en privilégiant les aspects *opératifs* (vs figuratifs). Avant d'illustrer une telle stratégie, nous aimerions montrer que les manuels, dans leur grande majorité, ignorent ou négligent ce type d'approche.

Leurs auteurs semblent considérer la représentation comme une résultante plutôt que comme une fonction ou une opération reliant un contenu (signifié) à un substitut ou représentant (signifiant). De cette opération, ils ne livrent en tout cas rien à l'élève, faisant comme si les symboles, schématisations ou modèles étaient des donnés, non des constructions, comme s'ils s'imposaient d'eux-mêmes.

Prenons d'abord l'exemple du *symbole*. On connaît son caractère intermédiaire entre l'indice et le signe. Dans le cas des symboles, les signifiants sont différenciés de leur contenu, ils ont une certaine autonomie par rapport à leur signifié ; leur choix procède donc d'un certain arbitraire. Il est très rare (3 ou 4 cas sur 40) que le manuel signale et commente les *conventions* adoptées, par exemple en ce qui concerne le choix

- des formes de la particule : cercle, mais aussi parfois triangle ou carré ;
- des couleurs : un seul manuel précise qu'il existe un code (cf. infra) ;
- des liaisons entre atomes : elles prennent des formes diverses (juxtaposition, interpénétration, bâton, ressort), qui sont rarement expliquées et risquent parfois d'être mal interprétées par certains élèves (les ponts hydrogène de la molécule d'eau sont alors censés se dilater !) ;
- des distances ou dimensions relatives des particules ; des remarques à ce sujet sont cependant un peu plus fréquentes.

Dans certains cas (par exemple : Chirouze, 4ème, 1983, pp. 44-45), la juxtaposition entre une photo (pointe de tungstène agrandie quatre millions de fois) et sa schématisation (cercles figurant les atomes) pourrait suggérer, faute de commentaire

adéquat, que le modèle est un agrandissement de la photo, et du même coup faire croire à la continuité de l'enveloppe électronique.

Citons en passant un cas où la convention (verbale) est indiquée mais risque bien d'échapper aux élèves étant donné son caractère allusif (la remarque est probablement surtout destinée aux enseignants) : «*Par commodité de langage*, les atomes qui constituent le fer sont appelés «atome de fer», ceux qui constituent l'or sont appelés «atome d'or»», (Faivre, 4ème, 1979, p. 13), ce qui, pour le lecteur non averti (ignorant la différence entre atome et ion) pourrait passer pour une lapalissade. Dans quelques rares cas, la convention est signalée, mais la formulation laisserait supposer un arbitraire total dans le choix du symbole, l'absence de toute ressemblance entre signifiant et signifié ou d'intentions mnémotechniques. Par exemple, l'utilisation conventionnelle des couleurs pour l'identification des atomes est indiquée de la façon suivante (Saison, 3ème, 1980, p. 10) : «On convient de colorer les modèles ; généralement les atomes de carbone sont noirs, ceux d'hydrogène blancs, ceux d'oxygène rouges, ceux de soufre jaunes, ceux d'azote bleus, ceux de chlore verts (...) (ce qui ne signifie pas que les atomes de carbone soient réellement noirs, ni ceux d'oxygène, rouges,...)». Ou encore cet autre exemple (Chirouze, 3ème, 1980, p. 16) : «(...) nous vous proposons une règle du jeu (...). Imaginons que les atomes se lient entre eux par des crochets et que chacun ait un nombre déterminé de crochets (...)». Le jeu ni sa règle ne sont aussi gratuits que le laisserait entendre cette formulation.

De cette lecture «en surface», on garde finalement l'impression que dans plusieurs manuels le terme et le concept de modèle sont utilisés dans un sens plus *illustratif* ou *figuratif* qu'*opératif*. Cette impression est confirmée par des remarques telles que la suivante (Saison, 3ème, 1980, p. 10), où nous soulignons les mots-clés : «Pour *visualiser* la structure des molécules, les atomes sont souvent *représentés* par des boules (...). On utilise aussi un modèle éclaté (...). Le squelette de la molécule est aussi mieux *représenté* : angles et positions relatives sont mieux *visibles*». Il est caractéristique que, dans ce manuel et dans d'autres, on donne avec précision l'angle formé par les atomes d'hydrogène dans la molécule d'eau sans indiquer «à quoi ça sert (ou servira)». L'objectif, l'utilité du modèle semble n'être que *visualiser* ; les avantages de telle représentation (le modèle éclaté) ne sont justifiés que par rapport à un objectif d'*illustration* (Michaud et Le Moal, 3ème, 1980, p. 107) :

«Autre représentation des molécules : modèle éclaté (ou réduit au noyau).

Avantage de cette représentation : elle *montre* de façon concrète (un trait) la liaison entre les deux atomes.

Inconvénient : si chaque cercle est censé représenter le noyau de l'atome, il donne une idée inexacte de la dimension des noyaux (...)».

Des instructions ministérielles françaises (Arrêté du 17 mars 1977) donnent une brève définition du modèle : (...) «image simplifiée de la réalité, à qui l'on peut

appliquer la logique mathématique (...)». Dans certains manuels, tout se passe comme si seule la première partie de la définition avait été retenue. Lorsqu'on utilise le terme de *maquette*, c'est généralement dans un sens très restrictif, qui fait du modèle, au mieux, un instrument figuratif.

Ce terme de maquette serait d'ailleurs un bon point de départ pour présenter aux élèves le concept de modèle

- comme une *construction* plus ou moins simplificatrice et fidèle par rapport à l'original ;
- pouvant être élaborée en diverses versions, correspondant à des points de vue et besoins différents ;
- rendant compte des principales caractéristiques de ce qu'elle représente ;
- facilitant le raisonnement ;
- se prêtant à la simulation, à la prévision, etc.

Sur le plan pédagogique, mobiliser l'analogie modèle-maquette constitue peut-être un progrès par rapport à la simple imposition ou réception d'une schématisation toute faite, plus ou moins explicitée. Quelques rares manuels (parmi ceux que nous avons analysés jusqu'à présent) proposent un pas de plus en direction de la *modélisation* par l'élève (vs pour l'élève) (Desautels, 1970, et I.P.S., 1969). Schématisée très brièvement, la démarche consiste à

- doter les élèves d'un certain bagage d'observations et d'expériences ;
- créer un besoin d'explication des phénomènes observés ou expérimentés ;
- guider les élèves dans la construction progressive de modèles (au pluriel) dans la pleine acception du terme (aspects figuratifs et opératifs).

L'un des deux manuels (I.P.S., 1969, chap. 8) utilise tout un chapitre pour introduire le concept de modèle. Il recourt à un exercice de manipulation d'une «boîte noire» (tiges et rondelles agencables de diverses manières dans un petit carton) simulant sur un exemple simple la construction d'un modèle. L'exercice porte sur des phénomènes qu'on ne peut observer directement, sur lesquels ils sont incités à observer, imaginer des représentations, faire des hypothèses, expérimenter, vérifier la validité de leur modèle, le corriger, faire des prévisions à partir des propriétés observées et expérimentées, etc.

Le travail en groupes permettant des comparaisons, les élèves peuvent être sensibilisés à des aspects comme l'utilisation de conventions, la nécessité de la simplification et de l'abstraction (laisser tomber certains détails ou aspects, même importants,

suivant le point de vue adopté) ou l'utilité d'une présentation résumée. Il permet aussi d'évaluer la pertinence ou l'efficacité des divers types de modèles proposés, en fonction d'un certain nombre de critères que les élèves sont incités à découvrir : simplicité, valeur explicative et prédictive, par exemple.

Le second manuel (Desautels, 1970) court même délibérément le risque de passer par des représentations ou conclusions momentanément inexactes (modèle de l'électricité : circulation de charges positives et négatives) pour arriver finalement à un paragraphe «Faits nouveaux et *remise en question du modèle*» (p. 152).

On constate que le modèle devient dans cette perspective un instrument opératif, opératoire et opérationnel et prend une tout autre place dans l'enseignement : «En insistant sur la NOTION DE MODELE [les auteurs] sont allés directement vers ce qui fera le mieux comprendre à l'étudiant moyen l'essentiel de la physique» (préface du même ouvrage).

Nous l'avons déjà dit, notre recherche n'est pas assez avancée pour que nous ayons déjà expérimenté une telle stratégie de modélisation. Comme toutes les approches de type constructiviste, elle est probablement très coûteuse en temps, au moins dans sa première étape. Elle est certainement inadéquate si l'objectif de l'enseignement consiste essentiellement à transmettre des notions ou connaissances plus ou moins superficielles. Elle s'impose déjà plus s'il s'agit plutôt de fournir une culture scientifique, si la visée est plus instrumentale, si l'acquisition d'une attitude scientifique est une finalité prise au sérieux.

### BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES ANALYSES AU CHAPITRE III.

AGABRA J. et al. 1980, Sciences physiques 3ème, Hachette, Paris.

AGABRA J. et Al. 1980, Sciences physiques 3ème. Livre du professeur, Hachette, Paris.

ANDREWS W.A. et al. 1979, Introduction aux sciences physiques, *Etudes Vivantes*, Montréal.

BABIN N. et al. 1981, Documents et Sciences : monde vivant ; phénomènes physiques, niveau 1, Hachette, Paris.

BENOIT M. et al. 1966, Eléments de physique, tome 1, Beauchemin Ottawa.

BLAIN F. et al. 1981, Physique-Chimie, classe de 2ème, Magnard, Paris.

CARRERAS R. et HENTSCH G. 1983, Quand l'énergie devient matière..., CERN, Genève.

CHANUT Y. et al. 1979, Sciences physiques 4ème, Hachette, Paris.

**CHANUT Y. et al. 1979**, Sciences physiques 4ème. Livre du professeur, Hachette, Paris.

**CHIROUZE P.J. et al. 1983**, Sciences physiques 4ème, Armand Colin, Paris.

**CHIROUZE P.J. et al. 1980**, Sciences physiques 3ème, Armand Colin, Paris.

**CHIROUZE P.J. et al. 1980**, Sciences physiques 3ème. Livre du professeur, Armand Colin, Paris.

**DELARUELLE A. et CLAES A. 1974**, Eléments de physique à l'usage des classes supérieures de l'enseignement secondaire, tome 1, Wesmael-Charlier, Namur.

**DELARUELLE A. et CLAES A. 1969**, Premières notions de chimie, à l'usage de la classe de 4ème, Wesmael-Charlier, Namur.

**DESAUTELS J. et al. 1970**, La physique, science expérimentale ; guide de l'étudiant, tome 2, Dunod, Montréal.

**D.I.P. Genève, 1972**, Température et chaleur, Département de l'instruction publique, Etudes pédagogiques de l'enseignement secondaire, Genève.

**D.I.P. Neuchâtel, 1977**, Notes méthodologiques de physique/chimie, Département de l'instruction publique, Service de l'enseignement secondaire, Neuchâtel.

**DYSON F. 1978**, Qu'est-ce que la chaleur ? in Les phénomènes naturels, Pour la science, Belin.

**FAIVRE G. et al. 1979**, Sciences physiques 4ème, Istra, Paris.

**GEBURTIG A. et al. 1980**, Sciences physiques 3ème, Istra, Paris.

**I.P.S. 1969**, Initiation aux sciences physiques, Institut de Recherches Psychologiques, Montréal.

**I.P.S. 1969**, Initiation aux sciences physiques. Livre du maître, Institut de Recherches Psychologiques, Montréal.

**JODOGNE J. et DESSART A. 1976**, Physique/Chimie, De Boeck, Bruxelles.

**KORN J. 1960**, L'atome, Deux coqs d'or, Paris.

**LAPP R. 1969**, La matière, Robert Laffont, Paris.

**MAHIEU M. et GHISLAIN R.** Leçons de physique, 2ème volume, Chaleur, Wesmael-Charlier, Namur.

**MAHIEU M. et GHISLAIN R. 1978**, Leçons de physique, 3ème volume, Wesmael-Charlier, Namur.

**MENDELSSOHN K. 1966**, La recherche du zéro absolu, Hachette, Paris.

**MICHAUD Y. et LE MOAL Y. 1979**, Cahier de sciences physiques expérimentales 4ème, Magnard, Paris.

**MICHAUD Y. et LE MOAL Y. 1983**, Sciences physiques 4ème, Magnard, Paris.

**MICHAUD Y. et LE MOAL Y. 1983**, Sciences physiques 4ème. Livre du professeur, Magnard, Paris.

**MICHAUD Y. et LE MOAL Y. 1980**, Sciences physiques 3ème, Magnard, Paris.

**PARKER A. et HEAFFORD P. 1975**, Chaleur, Vuibert, Paris

**PETIT J.P. 1980**, Si on volait, Belin, Paris.

SAISON A. et al. 1979, Sciences physique 4ème, Fernand Nathan, Paris.

SAISON A. et al. 1979, Sciences physiques 4ème. Livre du professeur, Fernand Nathan, Paris.

SAISON A. et al. 1980, Sciences physiques 3ème, Fernand Nathan, Paris.

THIBAUT P. et al. 1973, La matière, Sciences physiques ; approche thématique expérimentale, Hurtubise, Montréal.

VANDERAUWERA J. Chimie pour le 2ème degré, Wesmael-Charlier, Namur.

VIALY G. 1982, L'énergie nucléaire, Textes et documents pour la classe n°280, CNDP, Paris.