

## LA MATIERE, COMMENT C'EST FAIT ?

### REPRESENTATION DES ELEVES ET PRESENTATION DES MANUELS

(première partie : représentation des élèves)

Daniel BAIN

François BERTRAND

Centre de recherches psychopédagogiques du cycle d'orientation genevois

Laboratoire de didactique et épistémologie des sciences

Université de Genève

#### I – INTRODUCTION.

Comment les élèves se représentent-ils la structure de la matière ? Cette question a surgi dans notre esprit lors d'expériences sur la chaleur faites avec des élèves de 12 à 15 ans au cycle d'orientation genevois, pour préparer l'enseignement d'un nouveau chapitre de physique. Nous nous intéressions à l'époque aux explications que des enfants de cet âge donnaient spontanément de phénomènes comme la dilatation ou la propagation de la chaleur. Ayant sous les yeux une boule de fer ou une barre métallique chauffée par une flamme, nous leur demandions ce qui allait se passer et pourquoi. En analysant leurs réponses, nous nous sommes rendu compte que les élèves fondaient leur argumentation sur un implicite dont nous ne savions rien de précis : leur représentation de la matière. Nous leur avons alors demandé de dessiner la boule ou la barre fortement agrandie, telle qu'on pourrait la voir avec un microscope très puissant. Nous avons constaté que l'intuition (ou la connaissance) d'une structure particulière de la matière n'était pas aussi largement partagée qu'on aurait pu le croire, ou que le supposent souvent les cours de physique. Ceux-ci font parfois comme si d'autres hypothèses concurrentes (continuité de la matière, discontinuité partielle par exemple) n'existaient pas chez les enfants ou les adolescents (voire les adultes). Nous avons donc décidé de faire une enquête plus systématique auprès d'élèves de différents degrés (7 à 10, soit 12 à 16 ans) pour vérifier le degré de généralité de certaines représentations ainsi que leur évolution sous l'effet de l'âge et de l'enseignement.

*Dans la première partie de cet article, nous présenterons ce travail avec un certain détail, pour que les enseignants intéressés par cette démarche puissent éventuellement la reproduire, sous une forme adaptée, dans leurs classes.*

En analysant les dessins et les textes fournis par les élèves dans cette enquête, nous nous sommes demandé dans quelle mesure les manuels prenaient en considération

Prénom et nom : \_\_\_\_\_ Classe : \_\_\_\_\_

Ecole / Collège : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

### QUESTIONNAIRE SUR LA CHALEUR

---

1. Comment vous représentez-vous l'intérieur d'une goutte d'alcool pur (si vous pouviez l'observer avec un énorme grossissement) ? Expliquez en quelques mots ce que vous verriez et faites un dessin avec les indications nécessaires pour qu'on puisse le comprendre.

- 3.a) Comment vous représentez-vous l'intérieur d'une boule de fer à la température de la pièce (20 degrés) (si vous pouviez l'observer avec un énorme grossissement). Expliquez en quelques mots ce que vous verriez et faites un dessin avec les indications nécessaires pour qu'on puisse le comprendre.

figure 1

2. Comment vous représentez-vous l'air contenu dans un ballon (si on pouvait l'observer avec un énorme grossissement) ? Expliquez en quelques mots ce que vous verriez et faites un dessin avec les indications nécessaires pour qu'on puisse le comprendre.

- b) Comment vous représentez-vous la même boule de fer chauffée à 200 degrés<sup>\*</sup> (si vous pouviez l'observer avec un énorme grossissement). Expliquez en quelques mots ce que vous verriez et faites un dessin avec les indications nécessaires pour qu'on puisse le comprendre.

\* Notez que le fer fond vers 1500 degrés.

ces représentations dans les chapitres présentant – ou utilisant – la notion de structure de la matière. En d'autres termes, nous avons voulu contrôler si les auteurs de ces ouvrages tenaient compte des difficultés ou obstacles que rencontrent certains pré-adolescents au moment où ils abordent ce sujet dans un chapitre ad hoc de leur manuel ou à propos de chaleur, d'électricité ou de chimie (pour en rester aux notions traitées dans le premier cycle secondaire). Pour faciliter la comparaison avec les résultats de notre enquête auprès des élèves, nous nous sommes intéressés tout particulièrement, dans les manuels, aux représentations figuratives ou graphiques, recourant à l'image, à la photo, au dessin, au schéma, à la maquette, etc., pour illustrer ou symboliser la structure particulière de la matière. Nous avons également analysé les textes proposés aux élèves (présentations théoriques et historiques) pour y repérer les hypothèses implicites des manuels sur les intuitions et savoirs préalables des élèves. Quelles représentations se font les auteurs de la connaissance commune à cet âge ? Nous devrions poser la même question à propos des enseignants et l'objectif de cet article est précisément de susciter auprès de nos lecteurs ce type de réflexion : ne sommes-nous pas enclins à «parachuter» chez nos élèves des notions complexes en faisant comme si le terrain était déjà préparé, exempt de tout obstacle ? Les modes de présentation et de représentation de la structure microscopique de la matière ne sont-ils pas susceptibles de renforcer certaines idées erronées faisant partie du sens commun ?

Il manquera une troisième partie à cet exposé, celle qui devrait présenter les stratégies didactiques favorisant les apprentissages dans le domaine qui nous intéresse. Notre expérience est encore trop limitée pour que nous nous risquions à des conclusions (Bertrand F. 1983, compte rendu d'une première expérience) ; nous nous contenterons de quelques suggestions en prolongement de notre analyse des manuels.

## **II – COMMENT LES ELEVES SE REPRESENTENT-ILS LA STRUCTURE DE LA MATIERE ?**

Pour le savoir, nous avons appliqué le questionnaire reproduit ci-contre (figure 1) à des élèves des degrés 7 à 10 de l'enseignement genevois fréquentant une section scientifique (correspondant aux classes allant de la 6ème à la 2ème de l'enseignement français, ancienne filière I). «Comment vous représentez-vous (si vous pouviez l'observer avec un fort grossissement) l'intérieur d'une goutte d'alcool,... l'air contenu dans un ballon,... l'intérieur d'une boule de fer ?». Nous demandions aux élèves de traduire ces représentations sous forme de dessins assortis de légendes ou commentaires.

Des expériences antérieures nous avaient montré l'intérêt de réponses sous cette forme figurative, plus facile à manier et plus explicite pour les enfants de cet âge qu'une description verbale. D'autre part, nous nous sommes bien gardés de placer sous leurs yeux les corps (alcool et boule de fer) dont ils devaient représenter la structure microscopique, pour éviter d'attirer l'attention sur des caractéristiques perceptibles

et macroscopiques (forme, couleur, par exemple ; le problème ne se posait évidemment pas pour l'air) et d'écarter ainsi une simple description de l'objet sous l'influence prégnante de la perception directe. En demandant aux élèves un effort d'imagination (consigne orale : «Si vous ne savez pas comment c'est fait, imaginez-le»), on les incitait d'une part à l'abstraction, d'autre part à l'intuition. En procédant ainsi, nous avons conscience du danger d'obtenir des réponses ad hoc, artificielles, l'élève représentant n'importe quoi pour satisfaire à la consigne. A l'expérience, ce risque s'est révélé peu important. L'analyse montre que les élèves ne répondent pas «n'importe quoi», ce qui interdirait tout classement ; en réalité, la plupart des réponses présentent des caractéristiques communes et entrent dans des catégories parfaitement interprétables.

En faisant porter la question successivement sur un liquide, un gaz et un solide, nous avons cherché à voir si la représentation de la structure de la matière variait selon ces trois états. On pouvait faire l'hypothèse que l'impossibilité de percevoir directement un gaz comme l'air induirait plus souvent une intuition de l'infiniment petit et peut-être du mouvement brownien. En revanche, le solide suggérerait plus facilement une certaine continuité de la matière, l'état liquide constituant un cas intermédiaire. Ces hypothèses ne pouvaient que très partiellement être testées par notre questionnaire, étant donné notamment un effet de séquence : des intuitions surgies à une question pouvaient être transférées aux deux autres.

A la question 3, nous avons introduit une autre variable susceptible d'influer sur les représentations : une transformation du solide sous l'effet d'une augmentation de la température. La formulation de 3 b (même boule de fer chauffée à 200 degrés) devait nous fournir des informations sur la façon dont les élèves se représentaient les effets de la chaleur (cf. notre problématique de départ centrée sur l'explication de la dilatation). Mais en plus, en introduisant un changement, elle attirait l'attention sur le support microscopique de cette modification, sur les termes de la transformation (invariants et changements). Inspirée de Piaget (J. Piaget/B. Inhelder, 1962, chap. VII), cette question pouvait suggérer une explication atomistique, du moins chez les élèves imaginant que l'élévation de la température entraînerait une modification de la boule : dilatation ou contraction (une remarque, en note, sur la température de fusion du fer devait en principe écarter l'hypothèse d'un changement d'état). La conservation de la masse (de la quantité de matière, pour les élèves) étant en principe acquise à cet âge (cf. Piaget, o. c.), ces changements de volume ne sont explicables que par l'existence de particules qui peuvent modifier leur position relative. Notre ambition n'était pas de faire donner par les élèves l'explication physique d'un phénomène aussi complexe que la dilatation ; nous voulions tout au plus voir si le modèle atomique, quand il existait, restait une représentation statique, purement figurative, ou s'il avait un rôle plus dynamique, explicatif, quelle que soit l'adéquation de cette explication du point de vue du physicien.

Pour saisir comment évoluent les représentations sous l'effet de l'âge, de l'enseignement et des informations extra-scolaires, nous avons interrogé, en début d'année scolaire, des élèves des trois degrés du cycle d'orientation (deux classes de section latino-scientifique ou scientifique pour chacun des trois degrés) et une classe de première année du Collège de Genève (10ème degré, type lycée). Les deux premiers degrés (7ème et 8ème, élèves de 12-13 ans) n'avaient pas reçu d'enseignement systématique de physique ; les deux suivants (9ème et 10ème, élèves de 14-16 ans) avaient passé plusieurs heures sur des chapitres de chimie, électricité et mécanique (le chapitre chaleur n'avait pratiquement pas été abordé par la grande majorité) et devaient normalement avoir acquis quelques notions sur la structure de la matière. Nous avons ainsi la possibilité, en comparant deux groupes d'élèves (7ème plus 8ème et 9ème plus 10ème), d'évaluer l'influence de l'enseignement sur les représentations des élèves, sans pouvoir dissocier ce facteur de celui de l'âge.

On conçoit aisément les limites d'un questionnaire par écrit, qui devrait être complété, dans une autre étape, par une interrogation orale plus souple, l'élève étant placé devant un dispositif expérimental. Cette approche offre plus de possibilités de contrôles, suggestions et contre-suggestions pour s'assurer de la réalité, de la solidité et de la transférabilité des représentations mises en évidence par notre premier sondage.

Pour analyser les réponses ouvertes, figuratives et verbales, des élèves, nous avons dû élaborer une classification tenant compte de ces deux aspects à la fois. Appliquant les techniques habituelles de l'analyse de contenu, nous avons établi une grille reproduite à la page suivante (tableau 1). Certaines des dimensions ou rubriques qui y figurent sont tirées de nos hypothèses de départ, d'autres ont surgi à la lecture des dessins ou de leurs légendes. En appliquant cette grille à l'échantillon restreint de nos réponses, notre objectif n'était pas de faire une analyse statistique détaillée mais de mettre en évidence globalement le *répertoire* des représentations des élèves, la diversité, l'importance et l'évolution des catégories apparues lors du dépouillement (cf. annexe).

#### A) Structure de la matière.

A priori, nous imaginions une catégorie dichotomique distinguant les réponses de type atomistique des autres (continuité de la matière ou absence de structure au niveau microscopique ; cf. des exemples dans les figures 2 et 3). Le dépouillement a révélé un tableau plus complexe, faisant apparaître des *catégories intermédiaires*.

Rappelons les catégories qui ont été distinguées (cf. tableau 1) :

- absence de structure au niveau microscopique ;
- continuité de la matière ;
- «ponctuation» de la matière ;
- continuité et discontinuité ;

## QUESTIONNAIRE SUR LA CHALEUR 2 : REPRESENTATION DE LA STRUCTURE DE LA MATIERE

Dimensions et critères de l'analyse de contenu des questions 1, 2, 3a et 3b.

A. Structure de la matière (gu. 1, 2, 3a, 3b)

- 0 absence de réponse
- 1 absence de structure ou de représentation de la matière
- 2 continuité de la matière (avec ou sans partition)
- 3 "ponctuation" de la matière (bulles, boules, fils, gouttes, microbes, ... = structurants de la matière)
- 4 continuité et discontinuité (seulement si le conte figure explicitement sur le dessin)
- 5 représentation de particules non structurées (structure inter ou intra-particule non précisée)
- 6 représentation de particules structurées (structure inter ou intra-particule précisée)

NB. codes 5 et 6 seulement si le caractère élémentaire de la particule est explicite (mot ou dessin)

B. Utilisation de termes scientifiques (emplois et confusions) (ensemble du questionnaire)

- 1 particule : définie comme un élément d'un ensemble de constituants de la matière (points, boules, ...)
- 2 molécule : définie comme un ensemble d'atomes (verbalement ou par le dessin)
- 3 atome : noyau + électron(s) ou élément d'une molécule dessinée ou désignée verbalement
- 4 noyau : placé au centre d'un nuage électronique
- 5 électron : placé autour d'un noyau dessiné ou désigné verbalement
- 6 proton ou/et neutron : définis comme constituants du noyau
- 7 cellule (code 9)
- 8 réponse non identifiable, douteuse
- 9 autre réponse fausse (selon les définitions ci-dessus)
- 0 terme non utilisé

NB. la codification occupe 7 colonnes identifiant l'emploi correct (no code = no col.) ou non du terme; la confusion atome (dessiné) - molécule (légende écrite), par ex., est signalée en col. 3 par un 2

C. Références, interférences, analogies avec d'autres domaines (biologie, etc.) dans la représentation du contenu de la matière (gu. 1, 2, 3a, 3b)

- Références biologiques (matière organique) : allusions à

- 1 microbes, bactéries, moisissures, ...
- 2 animalcules, bestioles, ...
- 3 cellules, globules, ...
- 9 autres constituants organiques
- 0 pas de référence biologique

- Corps étrangers (matière inorganique)

- 1 poussières, saletés, fumée, ...
- 2 bulles d'air, air, ...
- 3 vapeur d'eau, eau, ...
- 9 autres
- 0 pas de corps étrangers

- Références pragmatiques : caractérisation par l'usage, allusion à l'action propre ou à son résultat, à l'utilisation pratique du corps, à son origine

- 1 allusion explicite
- 0 pas de référence de ce type

D. Agitation des particules (gu. 3a, pour 3b cf. E)

- 0 ensemble statique, absence d'information
- 1 agitation explicitée, portant sur les molécules, atomes ou électrons

E. Effets de la chaleur (types de transformations observables entre 3a et 3b)

- Transformations macroscopiques, globales, à l'intérieur ou à l'extérieur de la boule

- 0 non réponse, pas d'information
- 1 modification de volume, dimensions : augmentation (dilatation)
- 2 modification de volume, dimensions : diminution
- 3 modification de l'état, de la consistance (fusion, ramollissement)
- 4 changement de couleur (rougit, ...)
- 5 modification de la surface : textures, taches, aspérités
- 6 modification de la température ("chaleur")
- 9 pas de modification, invariance explicitée ou inférable des 2 dessins

- Transformation (interne) des constituants, continus ou discontinus, non particulières

- 0 non réponse, pas d'information
- 1 agitation, déplacement
- 2 distance interéléments : plus grande ou plus petite
- 3 changement d'état ou de consistance
- 4 dimension, grandeur des constituants : augmentation (dilatation)
- 5 dimension, grandeur des constituants : diminution
- 6 nombre des constituants : augmentation (évent. apparition de nouveaux constituants)
- 7 nombre de constituants : diminution (évent. disparition)
- 8 autres réponses (à relever séparément)
- 9 pas de modification

- Transformation (interne) des particules : molécules, atomes, électrons, ...

Même codification que pour les constituants non particulières (cf. supra)

tableau 1

- représentation de particules non structurées ;
- représentation de particules structurées.

La figure 4 fournit une illustration de représentations combinant *continuité* et *discontinuité* de la matière, sous forme de «particules» en quelque sorte en suspension dans un milieu homogène, peu ou non structuré. L'élève représente par exemple de «minuscules particules d'oxygène» ou «de gaz qui n'est pas bon à respirer» dans un «mélange gazeux» ou dans l'air conçus comme des contenants continus.

Fer à 20°

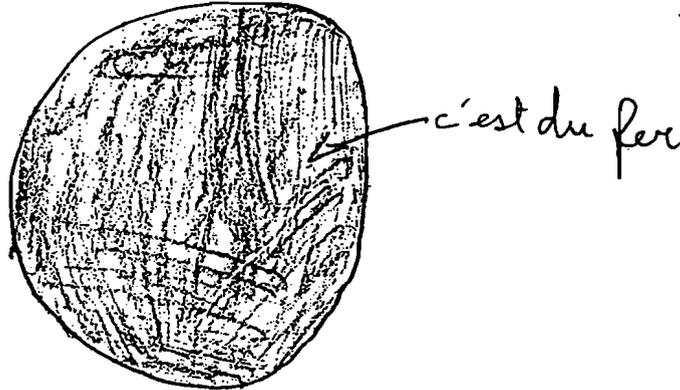


figure 2

Air

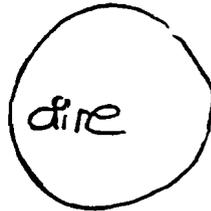


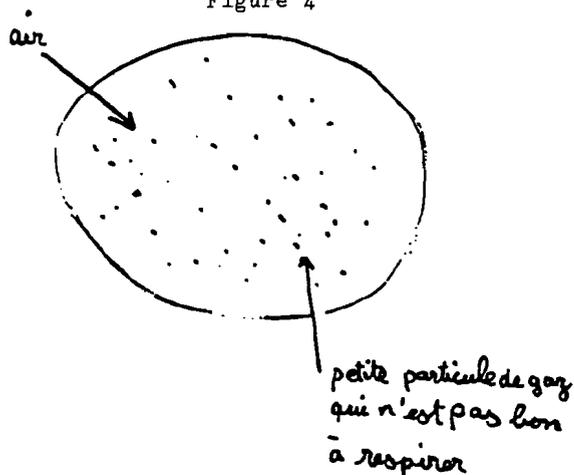
figure 3

On ne verrai rien parce que l'oxygène qui est autour de nous on Pa voit pas !

Figure 4

figure 4

Air



Il faut rapprocher cette catégorie d'une autre, que nous avons baptisée *ponctuation de la matière*. En effet, les élèves utilisent généralement le symbole graphique du point pour représenter des éléments de très petite taille constituant en quelque sorte des impuretés ou des corps étrangers : poussières, bulles, vacuoles, microbes, fils, limaille de fer, etc. (figures 5 à 7).

Alcool

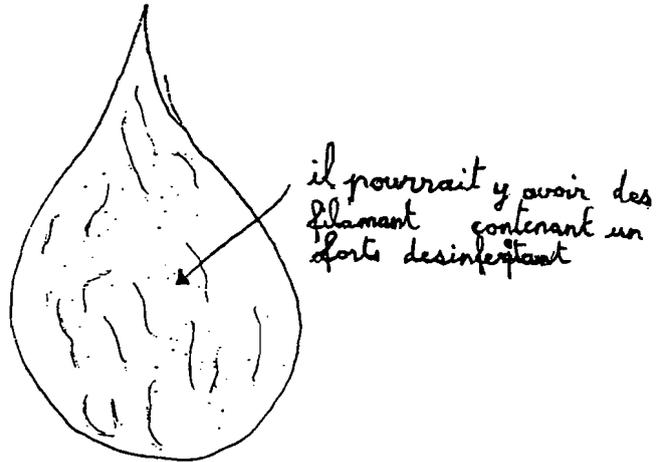


figure 5

Air

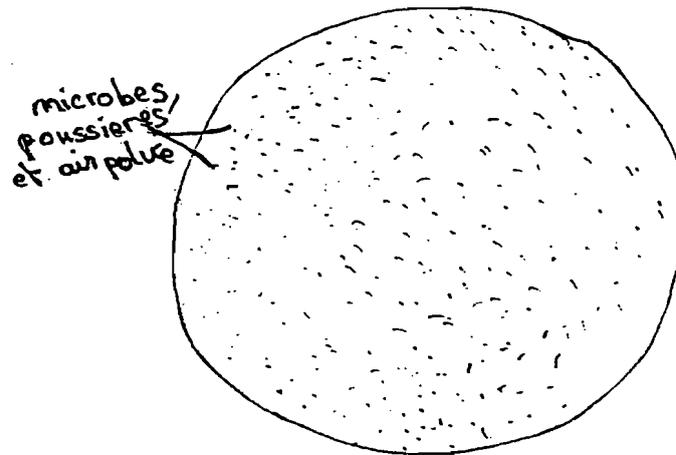


figure 6

Fer à 20°



figure 7

Nous serions enclins à voir dans ces ponctuations des équivalents intuitifs des particules, qui peuvent à l'instar de celles-ci fournir des «explications» aux phénomènes observés, comme nous le montrerons plus loin (E). On trouverait là une confirmation

de la thèse de Bachelard (1933, cité par Piaget, o. c., p. 97), selon laquelle « les modèles intuitifs ayant servi de supports aux débuts de l'atomisme sont à chercher dans les poussières et dans les poudres » ; nous ajouterions : et peut-être aussi dans les micro-organismes (microbes), qui, dans les dessins analysés, fourmillent aussi bien dans l'air, le fer que l'alcool ! Ce pré-modèle est attesté sous une forme ou sous une autre chez près de la moitié des élèves qui n'ont pas reçu d'enseignement systématique de physique (7ème et 8ème). Il pourrait bien constituer un stade intermédiaire, préalable à l'atomisme. Chez quelques élèves, ce type de représentations semble d'ailleurs résister à la présentation des modèles scientifiques lors des cours de chimie ou d'électricité, puisqu'on en retrouve encore environ 10% en 9ème et 10ème.

Contrairement à notre hypothèse, la proportion de représentations particulières (dessins d'atomes ou de molécules, ou plus généralement de constituants élémentaires) ne varient guère selon l'état de la matière : liquide, gazeux ou solide ; les pour-cent de réponses du type A5 et A6 (cf. tableau 1) sont à peu près équivalents aux questions 1 à 3. Pour les autres catégories de représentations (absence de structure ou continuité et ponctuation) les différences ne sont pas non plus significatives. La question 3b (boule chauffée à 200°) ne semble pas non plus avoir l'effet de suggestion espéré, sans le soutien d'une expérimentation réelle. L'émergence d'une intuition ou d'un schème atomiste ne peut donc pas être favorisée par des facteurs aussi extérieurs et nos hypothèses, finalement très empiristes, se révèlent ainsi infirmées.

Par ailleurs, comme on pouvait l'espérer, on constate une évolution du 7ème-8ème au 9ème-10ème degré allant de la continuité ou absence de structure de la matière à un atomisme plus ou moins différencié (la structure intra ou interparticulaire étant ou non précisée par le dessin ou sa légende). On trouve déjà 5-10% de représentations atomistes en 7ème, dès la 9ème environ 70%. Nous ne sommes cependant pas persuadés que celles-ci, induites par l'enseignement reçu, n'en restent pas au niveau de réponses scolaires, stéréotypées (nombreux dessins reproduisant la forme classique du modèle de Bohr : cf. figure 8), peu utilisables ou transférables, comme le montre le petit nombre d'utilisations pertinentes à la question 3b pour expliquer les effets de la chaleur.

Pour le maître de physique de 8ème, chargé de l'enseignement des rudiments, nous tirerions de cette partie de l'analyse la conclusion qu'il ne doit pas s'attendre à ce que l'hypothèse atomiste surgisse « naturellement » chez la majorité de ses élèves. Même si pour beaucoup d'entre eux les termes de molécule, atome ou particule sont familiers, une bonne moitié s' imagine spontanément la matière comme continue ou dépourvue de structure particulière au niveau microscopique. Ils risquent d'accepter assez passivement le modèle atomiste du maître, au même titre qu'ils mémorisent des règles de grammaire ou des notions géographiques..., sans voir la nécessité de les

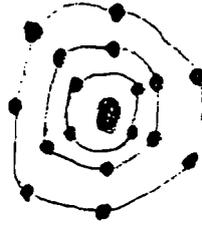
Fer à 20°

figure 8

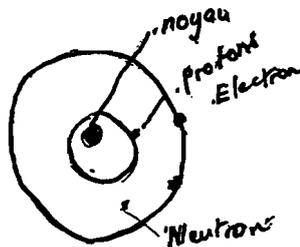
*On y découvrirait une charge électrique composée de neutrons et d'électrons qui tournent au tour du noyau.*

Fer à 200°

*Les neutrons et les électrons se dédoublent et tournent de plus en plus vite au tour du noyau, ce qui augmente la quantité d'électricité.*

Alcool

figure 9



*Atomes d'alcool*

utiliser par la suite. Une approche historique du problème aurait au moins le mérite de montrer que la structure atomique de la matière ne s'est pas imposée de tout temps, qu'elle a représenté un paradoxe (au sens étymologique : contraire à l'opinion commune) à une certaine époque. Cette introduction, fréquente dans les manuels, n'est pas nécessairement convaincante ou efficace pour certains élèves, peu sensibles aux problèmes d'autrui et d'autres temps. Il est probablement plus fructueux de partir de problèmes ou de situations paradoxales, comme celles de la boule de fer chauffée

qui change de volume sans changer de masse ou de poids (à l'échelle des observations possibles en classe). La structure atomique de la matière apporte une explication à ce mystère. Mais, dans le cas d'une telle stratégie didactique, le maître devra tenir compte que d'autres explications concurrentes peuvent surgir dans la tête d'une autre moitié des élèves : celles qui recourent aux fameuses ponctuations et dont il devra démontrer la fausseté ou l'insuffisance.

### B) Utilisation de termes scientifiques.

Par le canal notamment des moyens de communication de masse, les enfants sont en contact très tôt avec les termes de particule, molécule, atome, noyau, neutron, proton ou électron. Mais les comprennent-ils ou les utilisent-ils à bon escient ? Pour contrôler ce dernier point, nous avons relevé toutes les occurrences de ces mots, en vérifiant dans le contexte (phrase ou dessin) la pertinence scientifique des termes.

Avant tout enseignement systématique de physique, quelques élèves (10-15%), qui admettent ou entrevoient une structure microscopique de la matière, utilisent surtout les termes (fréquents dans le discours sur le nucléaire) d'*atome* et de *particule*, mais généralement dans un sens très vague et non spécifique : sur les 86 élèves interrogés en 7ème et 8ème, 2 ou 3 les emploient judicieusement. Le terme de *molécule* n'apparaît que dans une copie et dans un emploi non pertinent selon nos critères (cf. grille d'analyse, rubrique B2). Bien que ce vocabulaire soit couramment véhiculé par les médias, le maître de physique ne peut donc pas compter sur la maîtrise de cette terminologie au départ de son enseignement. Il devra plutôt veiller à mettre en place dans l'esprit des élèves un système de hiérarchisation et d'opposition sémantique des concepts, pour lutter contre une confusion terminologique qui est la règle.

Celle-ci persiste d'ailleurs en 9ème année, malgré l'enseignement reçu, en ce qui concerne *molécule*, employé généralement de façon indifférenciée (= entité microscopique élémentaire). Dès ce degré, outre les termes déjà mentionnés, apparaissent (dans une proportion de 25-30%) ceux de *noyau* et *électron*, correctement utilisés dans la majorité des cas. En revanche, *proton* ou *neutron* (25%) ne sont représentés comme des constituants du noyau que dans un cas sur deux et dans les autres occurrences ils ont un sens vague de particules (figure 9).

Nous reviendrons sur ces problèmes conceptuels et terminologiques dans notre analyse des manuels ; en effet, ceux-ci ne facilitent guère la hiérarchisation et les oppositions que nous proposons tout à l'heure.

### C) Références et interférences.

Cette rubrique de notre analyse nous paraît d'autant plus intéressante qu'elle a surgi en cours de dépouillement et qu'elle met en évidence le décalage entre les

représentations, généralement implicites et cachées, des élèves et certains implicites guère plus conscients du physicien-enseignant.

Ce dernier considère la matière ou les corps comme des objets d'étude abstraits, simplifiés à l'extrême, extraits d'une réalité ambiante et des contraintes ou aléas de la vie concrète, sans référence à des finalités pratiques. Quand il parle d'alcool, il le conçoit sans impureté (cf. notre consigne de la question 1 : «alcool pur») et voit à la limite une formule. L'air est pour lui un mélange de gaz, sans autres constituants ou contenus ; la boule de fer est représentée dans son cours comme un ensemble d'atomes ou d'ions en structure bien ordonnée, sans solution de continuité ni irrégularité interne contingente.

Le tableau est tout autre chez les élèves, du moins avant qu'ils aient subi et partiellement assimilé les simplifications didactiques esquissées (et caricaturées ?) ci-dessus. Dans leurs dessins et commentaires, ils font preuve d'une certaine richesse d'imagination, de fantaisie et également d'observation. Pour eux, la matière reste liée à la vie courante, à sa provenance (fabrication) ou à son utilisation.

Il considèrent souvent (20-40%) l'air, l'alcool et dans une moindre mesure le fer comme des *milieux* naturels, caractérisés ou structurés en partie par la présence de petites bêtes, microbes, bacilles, moisissures, etc. Pour les plus jeunes, c'est dans l'air que ces *micro-organismes* grouillent le plus souvent (40% en 7ème ; figure 10), mais ils viennent aussi troubler fréquemment la prétendue pureté de l'alcool (environ 30% ; figure 11).

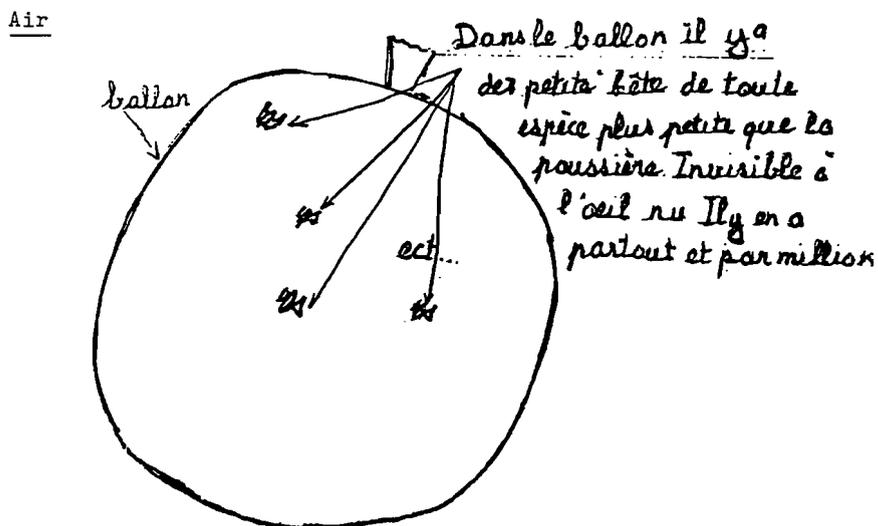


figure 10

Alcool

figure 11

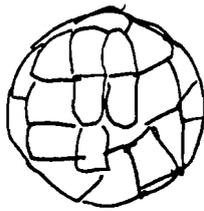


il y a de minuscules  
microbe - petites bêtes - de anticor  
contr les infections .

Ces réponses persistent au-delà de la 7ème, mais deviennent exceptionnelles, particulièrement pour le fer (figure 12). Celui-ci est conçu assez logiquement comme moins hospitalier pour ces divers animalcules qui disparaissent presque toujours lorsque la température monte à 200° (question 3b). Signalons toutefois (figure 13) un cas où c'est l'inverse, l'élève partant de l'idée que «ce sont les petites bêtes qui donnent la chaleur» (cf. la fièvre) ! Cette assimilation d'un corps physique au corps humain, cette persistance d'une forme d'animisme diffus à cet âge sont probablement moins rares qu'on ne le penserait.

Fer à 20°

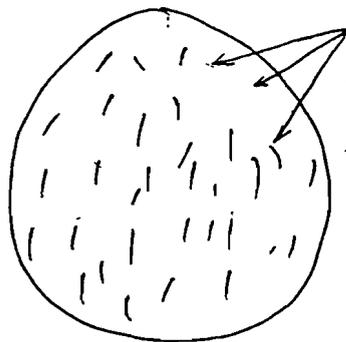
figure 12



ce sont des microbes  
avec des boucliers qui  
font une boule

Fer à 20°

figure 13



Il y a des petites bêtes  
très invisibles à l'œil nu.  
Et ce sont eux qui donne  
la chaleur.

Parallèlement à ces irruptions du biologique dans l'univers aseptisé du physicien, on relève, presque dans la même proportion, la présence d'éléments microscopiques inorganiques ou *corps étrangers*, tels que poussières, saletés, fumées et vapeur d'eau, dans l'air surtout, ou bulles d'air (dans le métal ou éventuellement l'alcool ; figures 14 à 16).

figure 14

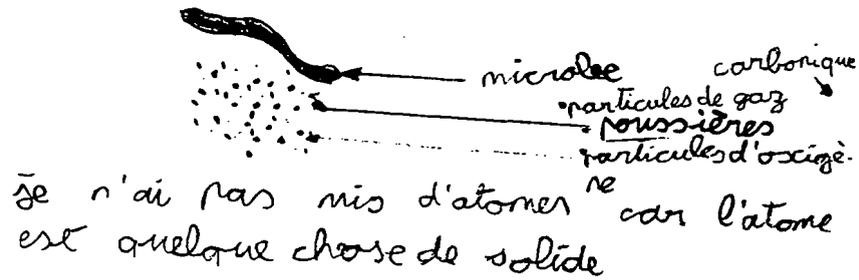
Air

figure 15

Alcool

Il y a des atomes, de l'alcool

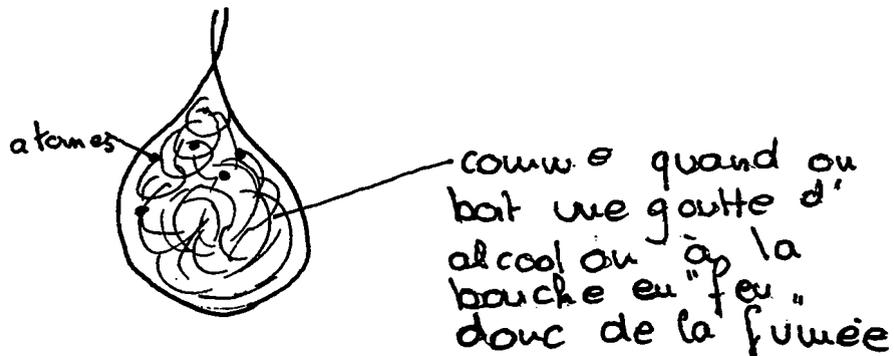
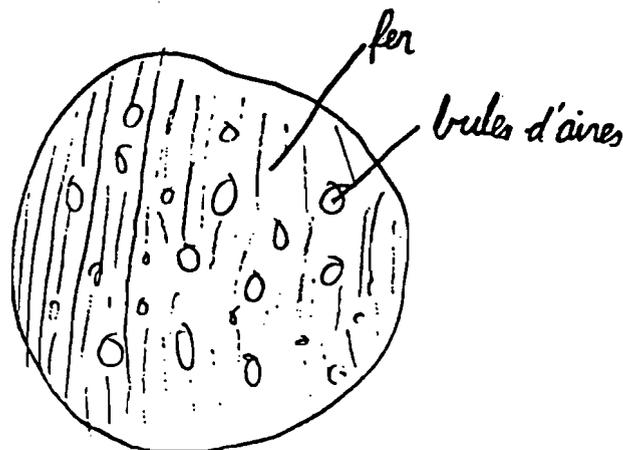
Fer à 200°

figure 16



Une troisième sous-catégorie des réponses montre que les élèves ont quelque peine à se détacher (comme le font les physiciens) de l'origine ou de l'usage habituel du corps qu'on leur demande de décrire au niveau macroscopique. On découvre ainsi dans leurs représentations ce que nous avons appelé des *références pragmatiques* parce qu'elles renvoient à l'action sur le réel, aux applications pratiques, aux propriétés physiques et chimiques, etc. Ils évoquent par exemple (figure 17) la fabrication de l'alcool à partir de raisins ou de pommes pressés et fermentés, dont on retrouve des traces dans la goutte microscopique. Cette même substance est présentée par le dessin ou sa légende comme contenant un «principe» désinfectant, enivrant, voire combustible («du liquide pour faire brûler») symbolisé par de la fumée) (figures 18 à 21).

Alcool

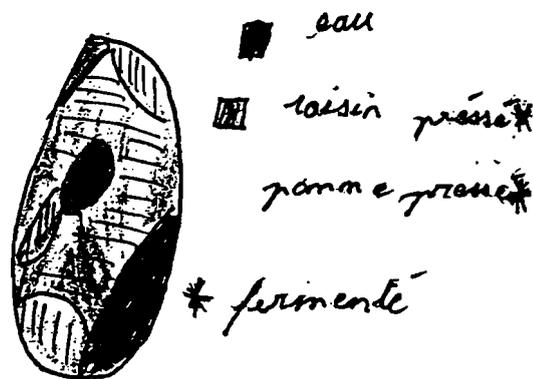


figure 17

Alcool

dans l'alcool je n'ai  
 au qu'une idée de  
 ce qu'il ya dedant.  
 Je pense qu'il y a:  
 des atomes, du liquide  
 pour faire brûler.



figure 18

Alcool

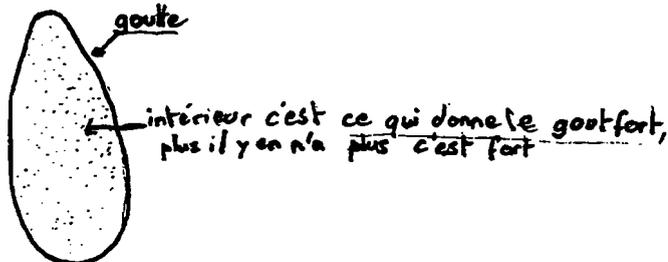
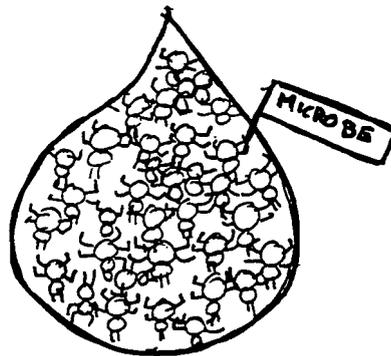


figure 19

Alcool

figure 20

Alcool

ce sont des petits microbes qui se promènent dans les veines et qui montent dans le cerveau et qui le dét-ruque

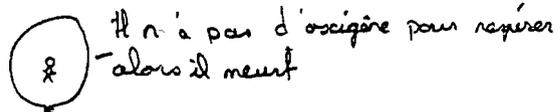
figure 21

Le physicien ne devrait pas oublier que pour certains élèves «l'air c'est fait pour respirer», attestation tardive d'une définition par l'usage, que l'on trouve généralement chez des élèves plus jeunes (figures 4 et 22).

Air

Si nous étions dedans nous pourrions pas respirer car il n'y a pas d'oxygène.

figure 22



C'est encore dans ce groupe que nous avons relevé la légende suivante, illustrant un autre aspect pragmatique de certaines représentations : «l'air d'un ballon est de l'air toxique si c'est l'homme qui le gonfle. Si c'est de l'air chaud le ballon s'envolera car l'air chaud est plus léger que l'air froid. Mais il est aussi toxique». La même fille signalait à l'intérieur de la goutte d'alcool des «Anticorps contre le froid», en précisant qu'il s'agissait d'alcool à 70°. Ce type de références, qui apparaissent surtout à la question 1 (alcool) pour des raisons évidentes, ont à peu près la même fréquence d'occurrences aux trois degrés du cycle d'orientation (15-20% environ). Elles manifestent la difficulté chez certains élèves de se détacher d'une conception finalisée de la matière et d'accepter la représentation abstraite de la physique scolaire.

Si on laisse de côté ces références pragmatiques, dans bien des cas, par rapport à la réalité quotidienne, la représentation de l'élève est plus réaliste que celle du physicien. En ignorant ces aspects, l'enseignant risque de cloisonner encore plus l'enseignement de la physique. Il l'isole d'abord de la biologie (à Genève, les deux branches sont enseignées par des maîtres différents). On ne s'étonnera pas alors de rencontrer, dans nos dessins, à l'intérieur de l'alcool pur ou du fer, des cellules (figures 23 et 24) confondues avec des atomes ou des molécules ; la confusion provient probablement de la fonction d'entité (ou brique) élémentaire que l'on retrouve dans les deux cas. Il n'est pas évident pour plusieurs élèves, même de 8ème ou 9ème, qu'une cellule soit formée de molécules et d'atomes. Si on leur demandait : « Qu'est-ce qui est plus gros, une molécule ou un microbe ? », on serait peut-être étonné du résultat.

D'autre part, oubliant l'étymologie du terme, on risque d'éloigner encore plus la physique du monde de la nature et de rendre encore plus difficile l'application des notions scolaires à la vie courante.

Alcool

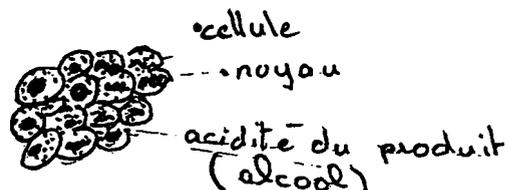


figure 23

Fer à 20°

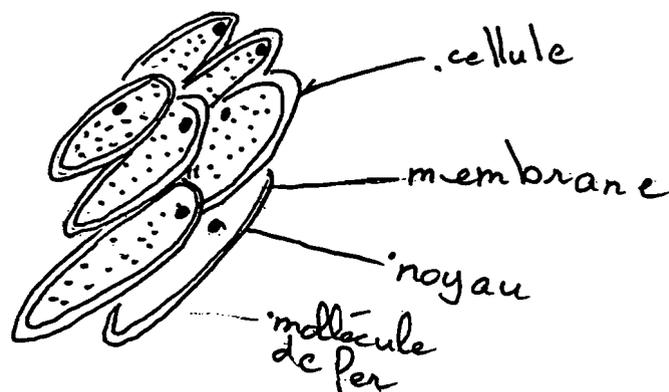


figure 24

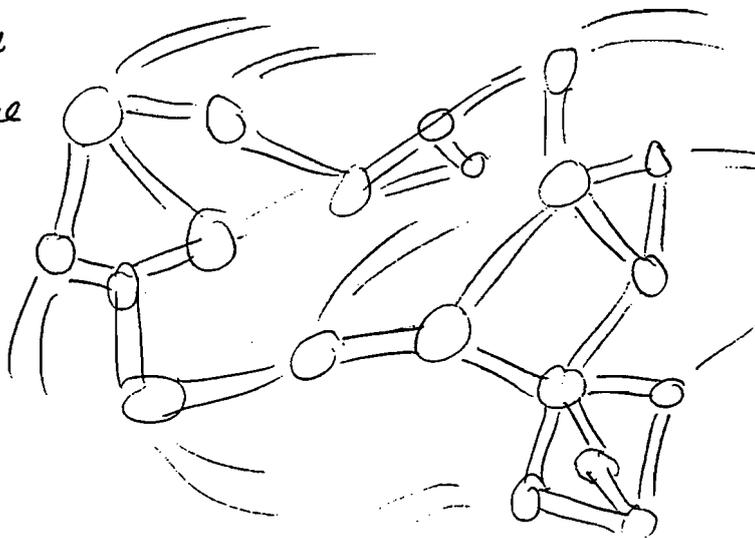
#### D) Agitation particulière.

Notre enquête ne comportait aucune question demandant d'explicitier la mobilité des éléments de la matière. L'absence d'indications de mouvement, dans les dessins comme dans les légendes, ne permet donc pas de conclure que les élèves se représentent les particules comme mobiles. C'est cependant très probable pour la grande majorité d'entre eux, surtout pour les corps « froids ». Nous en avons un indice dans le fait que

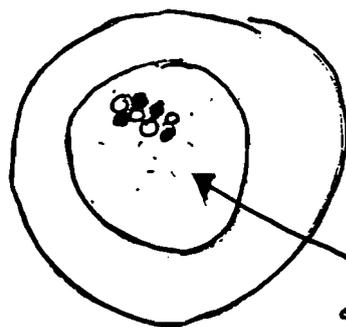
si aux 9ème et 10ème degrés quelques élèves (environ un quart) décrivent ou dessinent l'agitation des particules dans la boule chauffée à 200° (figures 25 et 26), ils ne la mentionnent pas toujours dans le dessin précédent lorsque cette même boule a la température de la pièce (20°). Une enquête complémentaire serait nécessaire sur ce point.

Fer à 200°

c'est la même  
structure que  
le fer froid  
mais ça  
bouge.



Fer à 200°



plus chaud l'intérieur.  
et des protons à commencer  
de bouger.  
et elle grossit.

Pour certains élèves, le grouillement des animalcules (figure 27 ; cf. aussi supra C : références biologiques) pourrait bien préfigurer, sous une forme intuitive, l'agitation particulaire. Le physicien ne sera peut-être pas très heureux de ce «biologisme», de cette forme d'animisme contre laquelle il doit souvent lutter par ailleurs. Ne serait-il pas possible de garder dans cette analogie spontanée de certains élèves l'aspect dynamique du mouvement, pour lutter contre la représentation fréquente de particules

immobiles, tout en désamorçant les aspects animistes de l'image en la situant comme telle ?

Fer à 200°

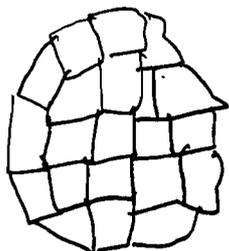


figure 27

Ce sont les microbes  
qui commencent à  
chauffer et qui bougent  
et les boucliers en  
même temps

#### E) Effets dus à la chaleur.

L'analyse des transformations dues à la chaleur (questions 3a et 3b) nous a amené à distinguer (tableau 1) :

a) des modifications macroscopiques, globales de la matière : changement de volume, d'état, de couleur, de surface, de température ;

b) des modifications (internes) de constituants, continus ou discontinus, non particuliers (microbes, corps étrangers, etc.) : changements relatifs au déplacement de ces constituants, à leurs distances, leur état ou leur consistance, leur grandeur et leur nombre ;

c) des modifications des particules : molécules, atomes, électrons, etc., avec les mêmes catégories que dans le cas des constituants non particuliers.

Ces diverses modifications ne sont pas nécessairement exclusives : un élève peut mentionner un changement de couleur de la boule et de distance des constituants, mais ces exemples sont rares. Par ailleurs, cette dimension d'analyse est partiellement liée aux précédentes, en particulier au type de structure de la matière : continue (a), discontinue ou pseudo-particulaire (b) et particulaire (c).

On ne s'étonnera donc pas de ce qu'un peu plus de la moitié des élèves de 12-13 ans (7ème et 8ème) se représentent des modifications macroscopiques perceptibles : changement de couleur, de température (!) ou de dimension et fusion (malgré la précision ajoutée à la consigne 3b) (figure 28).

Fer à 20°

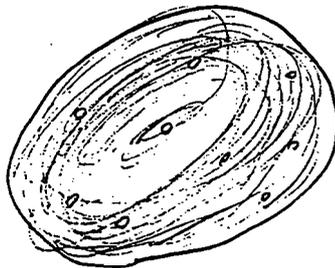
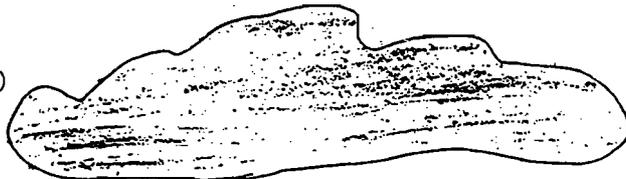


figure 28

Fer à 200°

(même élève)



Dans les autres dessins fournis par ce groupe, on trouve surtout des transformations des éléments qui «ponctuent» la matière : augmentation, diminution, disparition des microbes ou des bulles, par exemple (figure 29).

Fer à 20°

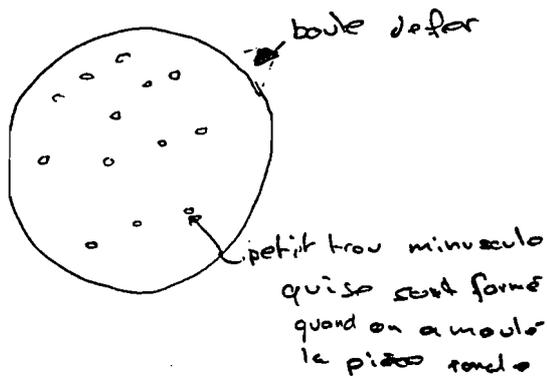
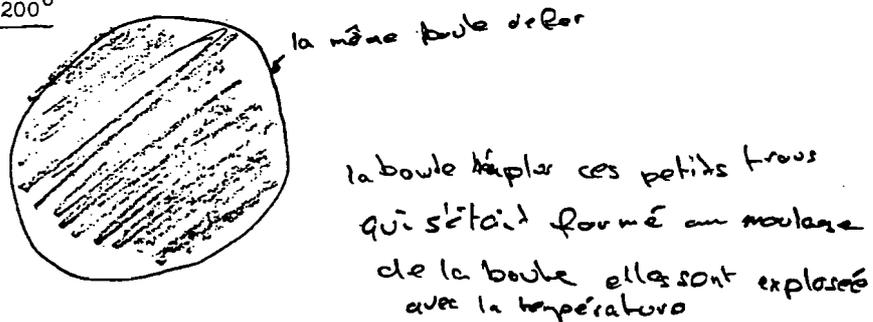


figure 29

Fer à 200°



Nous avons ici une confirmation de l'hypothèse mentionnée plus haut : ces «ponctuations» pourraient bien avoir un statut explicatif dans les représentations des élèves à ce stade : si la boule de fer se dilate, c'est parce que les bulles augmentent

de volume, les microbes se multiplient avec la chaleur,... (figures 30 et 31) ; si elle se rétracte, c'est parce que les petits trous ou les bestioles disparaissent sous l'effet de la température (figure 32) !

Fer à 20°

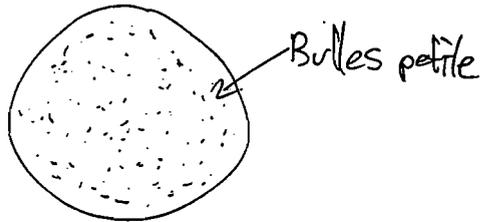


figure 30

Fer à 200°

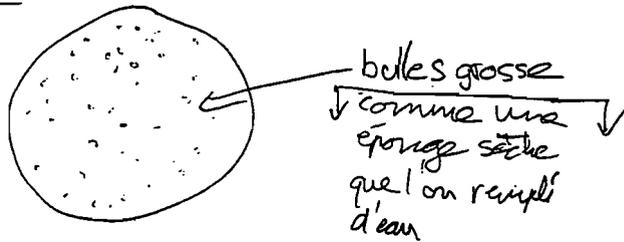


figure 31

Fer à 200°

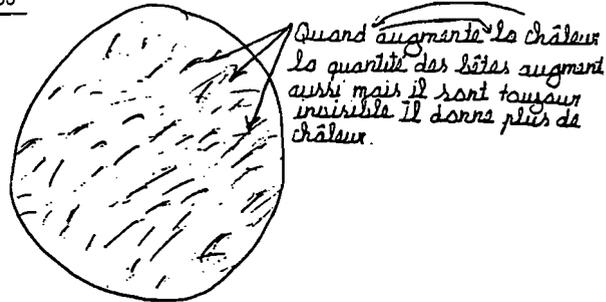


figure 32

Fer à 200°

la boule serait déjà plus rouge et les petites bêtes seraient mortes et la rouille aurait presque toute disparue et il y aurait même de bêtes

→ petites bêtes  
→ rouille



La comparaison de la boule avec «une éponge sèche que l'on remplit d'eau» (figure 30) est très illustrative de l'utilisation qu'un enfant peut faire de l'analogie pour essayer de s'expliquer un phénomène ; nous l'avons rencontrée chez plus d'un élève.

Dans les quelques interviews qui ont précédé cette enquête, nous avons pu observer que, dans le raisonnement des élèves, l'apparition ou la disparition de vacuoles ou de corps étrangers, leur augmentation ou leur diminution permettent à certains de concilier l'idée d'une conservation de la substance, acquise généralement bien avant 12 ans (Piaget, 1962, chapitre 1) et le constat d'une modification du volume : la quantité de matière, c'est-à-dire de fer, reste la même à 20° et à 200° ; c'est sa répartition dans l'espace qui change. Dans ce cas également, on peut se demander si ce type de représentation constitue un obstacle à éliminer ou au contraire une intuition à expliciter avec précautions. Seule une expérimentation pédagogique permettrait de répondre ; elle reste à faire en ce qui nous concerne.

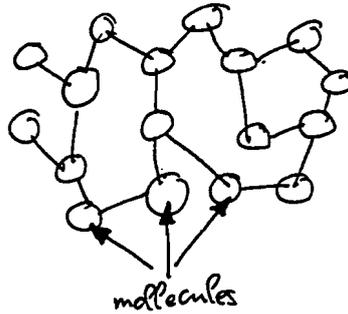
Il faut relever qu'une proportion non négligeable d'élèves de 7ème et 8ème ne mentionne aucun changement. Dans quelques cas ils explicitent et expliquent l'invariance : «[la boule] aurait exactement le même caractère que ci-dessus» (3a = 3b) ; «ce serait seulement chaud (la boule ne change pas à cette température)». De telles réponses proviennent du fait que ces élèves ne conçoivent probablement qu'une seule transformation possible : le *changement d'état*, comme en témoignent plusieurs réponses à 3b évoquant par le dessin ou le texte une fusion partielle ou totale (malgré la précision apportée en fin de consigne) : «le fer ne fondra pas entièrement mais [un] peu» ou plus catégoriquement : «la boule fond». On en aurait une confirmation dans la légende suivante, qui va jusqu'à contester l'information fournie dans la question 3b : «puisque [la boule] ne fond pas, elle [a] la même température que la boule de fer d'en haut» (c'est-à-dire 20° et non pas 200°) !

Les élèves de 15-16 ans, qui ont suivi un cours de physique pendant un ou deux ans, sont plus nombreux à prévoir la dilatation de la boule chauffée à 200° (un tiers au 10ème degré). En revanche, ils semblent moins entraînés à utiliser leurs connaissances relatives à la structure de la matière pour essayer d'expliquer (plus ou moins correctement) ce phénomène ou plus généralement pour décrire les effets de la chaleur. Seuls 30% d'entre eux s'y risquent en invoquant l'agitation des atomes, l'augmentation (ou la diminution) de la distance entre les particules, voire la diminution du nombre des constituants élémentaires (figures 8 et 33).

Fer à 20°

On verrait des milliers de molécules.

figure 33

Fer à 200°

les molécules se dilatent. je pense que ça augmente le vide entre elle

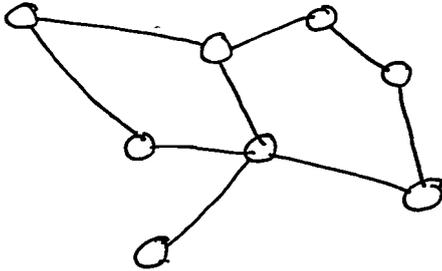
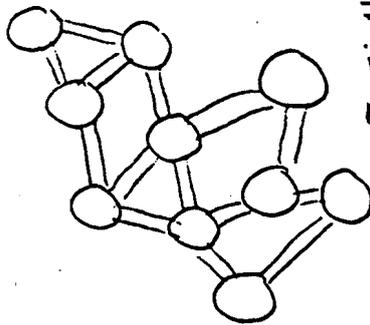


figure 34

Fer à 200°

O bulle d'air

== ponts communicants  
ils grossissent un  
peu avec  
la chaleur



Comme on l'a constaté, en ce qui concerne la structure de la matière, notre enquête a mis en évidence une grande diversité de représentations chez les élèves n'ayant pas reçu de cours systématique dans ce domaine. Ils apparaissent moins prêts qu'on n'aurait pu le croire à considérer la matière comme constituée de particules élémentaires, qui vont jouer un rôle essentiel dans l'explication de plusieurs phénomènes présentés dans leurs cours de physique ou chimie. Lorsqu'il est saisi par les

enfants de cet âge, le discours vulgarisateur des médias ne semble leur laisser que quelques termes aux signifiés très flous, plus ou moins associés à des images ou schémas trop vagues pour pouvoir être réutilisés comme des modèles fructueux dans l'interprétation de certains faits. Ou encore, les informations fournies par la vulgarisation scientifique (et plus tard par l'enseignement) paraissent en bonne partie dissociées de l'expérience quotidienne et constituent par conséquent des connaissances peu transférables. Dans ces conditions, les élèves recourent plus volontiers, pour leurs explications, à des observations faites au niveau macroscopique : présence d'irrégularités, de solution de continuité, de corps étrangers dans la matière, par exemple ; phénomènes qui existent d'ailleurs et que le physicien a trop souvent le tort d'évacuer de son cours.

En ignorant la conception que les élèves se font de la matière avant toute formation scientifique, nous courons le risque que les notions enseignées se juxtaposent à ces représentations plutôt qu'elles ne s'y substituent, comme le montrent certaines de nos observations au niveau des degrés 9 et 10. Les élèves ont alors de la peine à situer non seulement les diverses particules les unes par rapport aux autres, mais aussi ces dernières par rapport à des entités qu'ils peuvent croire tout aussi élémentaires, comme les cellules, les grains de poussières, les vacuoles ou les microbes. De telles interférences apparaissent souvent au détour d'une remarque ou d'une question des élèves. On pourrait les croire exceptionnelles ; elles seraient probablement fréquentes si on interrogeait les élèves de façon plus approfondie.

Les manuels aident-ils les enseignants à lutter contre ces représentations fausses ; contribuent-ils à les évacuer ou ne risquent-ils pas par certaines de leurs (re)présentations de les renforcer ? C'est ce que nous avons voulu contrôler dans une seconde analyse.

## REFERENCES.

BACHELARD 1933, Les intuitions atomistiques, édition Vrin.

BERTRAND F. 1973, «Evolution des représentations chez des élèves d'une classe de cycle d'orientation», Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, Université de Genève.

PIAGET J., INHELDER B. 1962, Le développement des quantités physiques chez l'enfant, édition Delachaux et Niestlé, Neuchâtel.

## ANNEXE

Analyse de contenu des réponses, selon les diverses catégories de la grille d'analyse (des regroupements ont été opérés pour certaines rubriques).

Effectifs (= 100%) : 7ème : 43 ; 8ème : 43 ; 9ème : 52 ; 10ème : 16.

Les pour-cent par degré et pour l'ensemble de notre échantillon ont été calculés et sont cités à titre indicatif, pour donner au lecteur un ordre de grandeur en ce qui concerne les proportions des diverses réponses observées.

## A – Structure de la matière.

question	degré	absence de str./ continuité	«ponctuation»	représentations particulaires
1. alcool	7	44%	44%	12%
	8	49%	47%	4%
	9	21%	12%	67%
	10	19%	13%	69%
		35%	30%	35%
2. air	7	42%	51%	7%
	8	53%	40%	7%
	9	21%	12%	67%
	10	25%	13%	63%
		36%	30%	34%
3.a fer à 20°	7	51%	44%	5%
	8	49%	37%	14%
	9	19%	8%	73%
	10	44%*	6%	50%
		38%	26%	36%
3.b fer à 200°	7	56%	42%	2%
	8	58%	28%	14%
	9	19%	10%	71%
	10	50%*	6%	44%
		42%	23%	35%

\* environ 1/3 de non-réponses.

## B. Termes scientifiques.

termes	degré	employés	pertinents	
particule	7	7%		5%
	8	12%	8%	0%
	9	8%		6%
	10	6%	6%	
molécule	7	2%		0%
	8	2%	23%	0%
	9	48%		10%
	10	50%	13%	
atomes	7	14%		5%
	8	14%	31%	2%
	9	48%		33%
	10	56%	44%	
noyau	7	5%		2%
	8	2%	12%	2%
	9	25%		21%
	10	19%	19%	
électron	7	2%		2%
	8	2%	16%	2%
	9	35%		21%
	10	31%	19%	
proton ou/ et neutron	7	0%		0%
	8	2%	11%	0%
	9	23%		10%
	10	25%	13%	

## C. Références, interférences.

question	degré	réf. biol. (microbes, animalc.)	corps étrangers (poussières, air bulles, eau,...)	réf. pragmatiques
1. alcool	7	28%	19%	19%
	8	21%	15%	12%
	9	8%	16%	17%
	10	0%	0%	6%
2. air	7	40%	14%	14%
	8	19%	23%	5%
	9	10%	14%	8%
	10	13%	6%	0%
3.a fer à 20°	7	14%	21%	2%
	8	5%	30%	2%
	9	2%	8%	2%
	10	0%	6%	0%
3.b fer à 200°	7	12%	23%	2%
	8	0%	28%	5%
	9	2%	8%	0%
	10	0%	6%	0%

## D. Agitation des particules (question 3a et 3b).

degré	agitation explicitée (dans le dessin ou le commentaire)	
	question 3a fer à 20°	question 3b fer à 200°
7	0%	5%
8	2%	2%
9	15%	25%
10	6%	19%

## E. Transformations dues à la chaleur.

### 1. Ensemble des effets.

degré	macroscopiques	sur const. non partic.	sur const. partic.
7	57%	51%	2%
8	40%	44%	5%
9	27%	8%	58%
10	31%	6%	44%

### 2. Détail de certains effets.

#### Effets macroscopiques.

degré	dilatation	fusion	couleur	température
7	5%	12%	26%	9%
8	2%	5%	26%	5%
9	8%	5%	10%	4%
10	31%	0%	0%	0%

#### Effets sur les constituants non particuliers.

degré	agitation	dilatation	diminution du n. de const.	augmentation du n. de const.
7	5%	7%	12%	16%
8	9%	7%	12%	2%
9	0%	2%	0%	0%
10	0%	6%	0%	0%

#### Effets sur les constituants particuliers.

degré	agitation	distance	diminution du n. de const.
7	0%	2%	0%
8	2%	0%	0%
9	19%	12%	17%
10	2%	13%	6%