

# **LE MODÈLE PARTICULAIRE AU COLLÈGE: FLUCTUATIONS DES PROGRAMMES ET APPORTS DE L'HISTOIRE DES SCIENCES**

**The particle model: changes in the curricula  
and the contribution of the history of science**

**El modelo particulario en el colegio: fluctuación  
de los programas y aportación de la historia de  
las ciencias**

**Das partikularische modell am college :  
schwankungen in den lehrplänen und beibringung  
der wissenschaftsgeschichte**

**Danie BREHELIN, Muriel GUEDJ**

Laboratoire interdisciplinaire de recherche en didactique éducation et formation  
(LIRDEF) – équipe études et recherches sur l'enseignement des sciences (ERES)  
IUFM de l'académie de Montpellier  
d.brehelin@voila.fr ; muriel.guedj@montpellier.iufm.fr

## ***Résumé***

*Cet article part d'un constat pour aboutir à une proposition. Dans une première partie nous mettons en évidence que l'ordre d'introduction dans les programmes successifs du collège français (enfants âgés de 11 à 15*

ans) des principaux concepts, modèles et symboles de chimie relatifs à l'interface micro-macro (particule, atome, molécule, espèce chimique, etc.) traduit un grand nombre d'hésitations de la part des concepteurs de ces programmes. Un des problèmes majeur est lié à la modélisation des aspects microscopiques de la matière qui sont abordés soit en premier, soit après les aspects macroscopiques.

Dans une deuxième partie, nous proposons une séquence de classe qui s'appuie sur des éléments d'histoire des sciences, permettant d'introduire les divers concepts tout en favorisant le questionnement nécessaire à leur acquisition. Une fois comprises les notions de modèle, de « particules » et de continu/discontinu telles que nous les introduisons, nous pensons que les élèves seront à même de recevoir un enseignement élémentaire de chimie quel que soit alors l'ordre de présentation des concepts.

**Mots clés :** programme chimie, collège, macro-micro, particule, histoire des sciences.

### **Abstract**

*This article starts with a report and ends with a proposal. In the first part, we will highlight the fact that the order in which the main concepts, models and symbols - related to micro-macro interface (particles, atoms, molecules, chemical species, etc - are introduced in the French middle school chemistry curricula (for 11-to-15 year-old students) reveals a lot of hesitations on the part of curriculum makers. One of the biggest problems is linked to the modelling of microscopic aspects of matter which is broached first or right after the macroscopic aspects.*

*In the second part, we will suggest a teaching sequence based on elements of the history of science that allow us to broach different concepts while promoting questioning, a requisite for learning. Once the notions of models, particles and continuous/discontinuous have been understood the way they have been introduced, we believe that the students will be able to follow basic lessons of chemistry whatever the order in which the concepts are introduced.*

**Keywords :** chemistry curriculum, macroscopic-microscopic, particles, history of science.

### **Resumen:**

*Este artículo empieza con una constatación para llegar a una proposición.*

*En una primera parte ponemos en evidencia que el orden de introducción de los programas sucesivos en el colegio francés (niños con edad de*

11 a 15 años) de los principales conceptos, modelos y símbolos de química relativos a la interfase micro-macro (partícula – átomo – molécula – especie química etc.) traduce un gran número de dudas por parte de los conceptores de dichos programas. Uno de los mayores problemas está vinculado con la modelización de los aspectos microscópicos de la materia que se abordan sea primero, sea después de los aspectos macroscópicos.

En segunda parte proponemos una secuencia de clase que se apoya en algunos elementos de la historia de las ciencias que permiten introducir diferentes conceptos además de favorecer el cuestionamiento necesario para su adquisición. Una vez entendidas las nociones de modelo, de partículas y de continuo/discontinuo, tales como las introducimos, creemos que los alumnos serán capaces de recibir una enseñanza elemental de química, cualquiera que sea el orden de presentación de los conceptos.

**Palabras clave:** programa de química, colegio, macro-micro, partícula, historia de las ciencias.

### **Zusammenfassung**

Dieser Artikel geht von einer Feststellung aus und mündet in einen Vorschlag. Im ersten Teil betrachten wir die Reihenfolge, in der die wichtigsten Begriffe, Modelle und Symbole in Chemie, die die micro-macro Schnittstelle betreffen (Partikel, Atom, Molekül, chemische Gattung usw.) in die jeweiligen Lehrpläne am französischen Collège (11- bis 15jährige Schüler) eingeführt werden. Diese Reihenfolge lässt zahlreiche Verzögerungen von Seiten der Verfasser dieser Lehrpläne erkennen. Eines der wichtigsten Probleme betrifft die Modellisierung der mikroskopischen Aspekte der Materie, die entweder am Anfang des Lehrplans oder erst nach den makroskopischen Aspekte besprochen werden.

Im zweiten Teil legen wir eine Unterrichtssequenz vor, die auf wissenschaftsgeschichtlichen Aspekten beruht, dank denen die verschiedenen Begriffe eingeführt werden können, wobei man die Fragestellung fördert, die die Erfassung dieser Begriffe nicht entbehren kann. Erst wenn die Begriffe des Modells, der „Partikeln“ und des kontinuierlich-diskontinuierlich Gegensatzes verstanden sind, denken wir, dass die Schüler imstande sind, zu einem Grundwissen in Chemie zu gelangen, in welcher Reihenfolge die Begriffe auch eingeführt werden mögen.

**Schlüsselwörter:** Lehrplan Chemie, Collège, makro-mikro, Partikeln, Wissenschaftsgeschichte.

## INTRODUCTION

La parution récente en France d'un nouveau programme pour l'enseignement des sciences physiques au collège (élèves âgés de 11 à 15 ans) nous a amené à examiner dans un premier temps les précédents depuis une trentaine d'années, c'est-à-dire depuis la création d'un collège dit « unique ». Cette recherche résulte de la volonté de mieux appréhender l'évolution de la discipline scolaire et par là de trouver une justification aux programmes actuels. Nous nous sommes plus particulièrement intéressées à la présentation de quelques objets de savoir dans le programme de chimie. C'est ainsi que, dans un premier temps nous avons choisi d'établir pour chacun des programmes concernés la chronologie de l'introduction des concepts « atome », « molécule » et « ion », ainsi que leurs modèles et symboles. Cette orientation résulte du fait que ces notions constituent le champ conceptuel de base de la chimie enseignée au collège.

Nous avons résumé ces données dans le tableau 1 pour lequel le premier chiffre représente la classe concernée par l'introduction du savoir donné et le deuxième correspond à l'ordre d'apparition de cet objet de savoir. C'est ainsi que pour le programme de 1977, le modèle particulaire est introduit en classe de quatrième et vient après le concept d'élément alors que pour le programme de 1985, il est introduit en classe de cinquième et vient après qu'aient été présentés d'abord le symbole et le premier modèle de l'atome, puis la molécule et la formule moléculaire (ces deux dernières notions n'étant traitées qu'en classe de troisième dans le programme précédent).

PROGRAMMES SUCCESSIFS					
Date de début d'application :	1977	1985	1993	1997	2006
<i>Sciences Physiques enseignées en classes de</i>	<i>6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>	<i>5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup></i>
Concept, symbole ou modèle introduit					
Élément	5 <sup>e</sup> - 1				
Modèle particulaire	4 <sup>e</sup> - 2	5 <sup>e</sup> - 3		5 <sup>e</sup> - 1	4 <sup>e</sup> - 1
1 <sup>er</sup> modèle de l'atome (atome boule)	4 <sup>e</sup> - 3	5 <sup>e</sup> - 1	4 <sup>e</sup> - 4	4 <sup>e</sup> - 3	4 <sup>e</sup> - 3
2 <sup>e</sup> modèle de l'atome (structure)	4 <sup>e</sup> - 4	4 <sup>e</sup> - 4	3 <sup>e</sup> - 7	3 <sup>e</sup> - 7	3 <sup>e</sup> - 9

PROGRAMMES SUCCESSIFS					
Date de début d'application :	1977	1985	1993	1997	2006
<i>Sciences Physiques enseignées en classes de</i>	6 <sup>e</sup> , 5 <sup>e</sup> , 4 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup>	6 <sup>e</sup> , 5 <sup>e</sup> , 4 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup>	4 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup>	5 <sup>e</sup> , 4 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup>	5 <sup>e</sup> , 4 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup>
Symbole atome	4 <sup>e</sup> – 5	5 <sup>e</sup> - 1	4 <sup>e</sup> - 4	4 <sup>e</sup> – 4	4 <sup>e</sup> – 4
Symbole électron	4 <sup>e</sup> – 6	4 <sup>e</sup> - 5	3 <sup>e</sup> – 8	3 <sup>e</sup> – 8	3 <sup>e</sup> – 7
Ion	4 <sup>e</sup> - 7	4 <sup>e</sup> - 6	4 <sup>e</sup> – 2	3 <sup>e</sup> – 9	3 <sup>e</sup> – 8
Formule ion	4 <sup>e</sup> - 7	4 <sup>e</sup> - 6	4 <sup>e</sup> – 3	3 <sup>e</sup> – 10	3 <sup>e</sup> – 10
Équation-bilan ionique	4 <sup>e</sup> - 8	4 <sup>e</sup> - 7	3 <sup>e</sup> - 9	3 <sup>e</sup> – 11	
Molécule	3 <sup>e</sup> - 9	5 <sup>e</sup> - 2	4 <sup>e</sup> – 1	5 <sup>e</sup> – 2	4 <sup>e</sup> – 2
Formule molécule	3 <sup>e</sup> - 9	5 <sup>e</sup> - 2	4 <sup>e</sup> - 5	4 <sup>e</sup> – 5	4 <sup>e</sup> – 5
Équation-bilan moléculaire	3 <sup>e</sup> - 10	3 <sup>e</sup> - 8	4 <sup>e</sup> - 6	4 <sup>e</sup> – 6	4 <sup>e</sup> – 6

**Tableau 1 • Évolution dans l'ordre de présentation des concepts, symboles et modèles et des classes dans lesquelles ils apparaissent.**

Par ailleurs, il apparaît de nombreuses hésitations, de la part des concepteurs de programmes, à savoir quelle approche, microscopique ou macroscopique, doit être abordée en premier.

Nous allons, dans un premier temps, nous intéresser à la façon dont les différents programmes appliqués au collège ont abordé cette dualité « micro-macro ». Les programmes ont-ils proposé une évolution du phénomène macroscopique vers le phénomène microscopique ou au contraire ont-ils initié dès le début les élèves à une vision microscopique des phénomènes chimiques ?

# 1 APPROCHE MICROSCOPIQUE OU MACROSCOPIQUE ?

Quand on se plonge dans l'histoire de la Chimie, on constate que jusqu'à Lavoisier, les savants ont surtout considéré les composés chimiques sous leur aspect macroscopique. C'est Dalton, en 1808, qui est le premier à faire un lien entre le macroscopique accessible à l'expérience et le microscopique imaginé (Dumon et Laugier, 2004).

Du côté de l'enseignement, plusieurs auteurs, comme Barlet et Plouin (1997) ont mis en évidence qu'à l'université certains étudiants étaient encore confrontés à divers obstacles liés à la dualité microscopique-macroscopique, ce qui montre la persistance de conceptions issues du « sens commun » et l'absence de « conscience microscopique » face aux phénomènes observables à l'échelle macroscopique. Pour ces auteurs, la compréhension profonde des phénomènes macroscopiques (et de leurs traductions symboliques ou mathématiques) passe nécessairement par des représentations correctes de leurs aspects microscopiques. Ils soulignent par ailleurs que les enseignants, lorsqu'ils font cours, « se déplacent facilement, sans toujours l'indiquer, entre ces aspects macroscopiques et microscopiques... » et n'ont pas toujours conscience des capacités conceptuelles que cela demande aux élèves. Comme le souligne Barlet (1999), c'est cette « dualité macroscopique-microscopique ; observable-modélisable ; concret-abstrait » qui fait la spécificité de la chimie et en même temps la difficulté de son enseignement.

En effet, Dumon et Laugier (2004) expliquent que « ce passage de l'observable au modélisable nécessite la maîtrise de concepts du registre microscopique (atome, élément, molécule, ion, masses atomique et moléculaire), du registre macroscopique (espèce chimique, corps simple, corps composé, masse molaire), du registre symbolique (symboles des éléments, formules des espèces chimiques, nombres stoechiométriques)... ». Selon Barlet et Plouin (1994), c'est l'équation de réaction qui est le concept intégrateur permettant de lier ces trois domaines. Ainsi, en reprenant cette idée, Dumon et Laugier (2004) écrivent que : « pour comprendre la signification de l'équation de réaction, l'élève doit être en mesure de circuler entre la situation expérimentale observée (le registre des phénomènes sensibles, au niveau macroscopique : ce qui peut être vu, touché, senti) et le domaine des modèles où le comportement des substances est interprété en termes de choses non visibles et moléculaires (le registre microscopique : atomes, molécules, ions, structures) ; ceci se traduit sous forme de notations et d'équations (le registre des représentations symboliques : élément, formule, équation, mole, etc.) ».

Barlet et Plouin (1997) notent que « cette modélisation constitue un enjeu didactique reconnu au coeur de chacune des réformes intervenant dans l'enseignement secondaire. Pour éviter que cette modélisation ne se transforme en véritable obstacle, nombreux sont les auteurs qui prônent une approche macroscopique de la réaction chimique suivie d'un apprentissage liant macroscopique et microscopique ». Pour notre part, nous pensons qu'il est nécessaire que les élèves aient eu tout d'abord l'occasion de réfléchir aux notions de modèle, de « particule » et sur les aspects continu/discontinu de la matière avant d'aborder l'enseignement de la chimie proprement dit. Une proposition dans ce sens constitue la deuxième partie de notre article.

## **2 PRÉSENTATION D'ÉLÉMENTS DES PROGRAMMES SUCCESSIFS DE SCIENCES PHYSIQUES AU COLLEGE**

### **2.1 Programmes 1977**

Ces programmes correspondent à l'introduction d'un enseignement de sciences physiques dans les collèges (création du « collège unique » par le ministre de l'Éducation nationale, M. René Haby). Ils émanent des travaux de la commission Lagarrigue (du nom de son président) qui a travaillé de 1971 à 1976. Ils ont été conçus comme un programme de fin d'études, la majorité des élèves, à cette époque, quittant l'école à la fin de la 3<sup>e</sup>. Le collège est alors partagé en deux cycles, le premier d'observation (6<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>), le second d'orientation (4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>).

Les sciences physiques sont enseignées dans toutes les classes du collège, de la 6<sup>e</sup> à la 3<sup>e</sup> sans discontinuité. L'horaire attribué à l'enseignement de physique-chimie est de 1 h 30 par semaine. Ces programmes ont été appliqués à la rentrée scolaire 1977 pour la classe de 6<sup>e</sup>, puis successivement en 1978, 1979 et 1980 pour les classes de 5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>.

#### ***Lecture des programmes et des instructions***

(BOEN n° 11 du 24 mars 1977 et n° spécial 4 bis du 11 janvier 1979)

Cette lecture nous permet de mettre en évidence les particularités de ce programme que nous soulignons dans le texte. Nous indiquerons également, dans la mesure du possible, le but pour lequel les différentes notions sont introduites.

**Classe de 6<sup>e</sup>** – Le programme de chimie de 6<sup>e</sup> est consacré à l'étude des propriétés physiques de la matière (solide, liquide, gaz) et de quelques combustions. Étude limitée à la forme et au volume selon l'état physique, la masse, des notions sur les transformations physiques, et la température.

**Classe de 5<sup>e</sup>** – Le concept d'élément est introduit en classe de 5<sup>e</sup>. Ce concept, selon la commission Lagarrigue, « joue un rôle important dans l'élaboration ultérieure du modèle atomique ». L'objectif est de « permettre aux élèves d'acquérir les bases expérimentales qui faciliteront ultérieurement l'introduction des modèles sur la structure de la matière » (conclusions travaux Lagarrigue, 1976).

**Classe de 4<sup>e</sup>** – L'aspect microscopique est abordé en classe de 4<sup>e</sup> seulement. Sans être strictement nommé, le modèle particulaire constitue le point de départ du programme de 4<sup>e</sup> : on parle de « cristal métallique ». Cependant, ce modèle n'a pas pour objectif d'expliquer les propriétés physiques de la matière (étudiées en classe de 6<sup>e</sup>), mais d'introduire dès le départ le premier modèle de l'atome. Le « cristal métallique » est décrit comme un modèle compact d'atomes sphériques empilés. L'atome (et son modèle) est donc le premier « objet » microscopique introduit.

La structure de l'atome (noyau, électrons) est ensuite abordée, et sont introduits alors les symboles d'atomes et de l'électron. L'unité atomique est l'Angström.

Les instructions accompagnant ce programme précisent que la masse de l'atome ne doit pas être abordée : Il s'agit d'un « premier contact avec le modèle atomique et son échelle. L'utilisation d'images simples et concrètes devra toujours être recherchée. » [...] « Il est conseillé d'éviter toute allusion à la masse des atomes » (car la mole et le nombre d'Avogadro sont hors programme) mais il faut « insister sur le fait que l'électron a une masse négligeable par rapport à celle de n'importe quel atome ».

Le programme de 4<sup>e</sup> se termine par l'introduction des ions et de leurs formules et les premières équations-bilan<sup>1</sup> ioniques sont écrites.

**Classe de 3<sup>e</sup>** – Ce n'est qu'en 3<sup>e</sup> que les élèves entendent parler pour la première fois du concept de molécule, écrivent les premières formules de molécules (formules compactes essentiellement, mais l'intérêt des formules développées est évoqué à l'occasion de l'étude de quelques hydrocarbures) et équilibrent<sup>2</sup> les premières équations-bilan moléculaires.

Il est possible d'utiliser des modèles moléculaires compacts ou éclatés, mais les instructions sont précises : « La présentation des modèles compacts et des modèles réduits aux noyaux (appelés parfois

(1) On utilise actuellement la dénomination « équation de réaction »

(2) On parle maintenant « d'ajuster les coefficients » et non d'équilibrer

modèles éclatés) ne doit pas être prétexte à donner des valeurs précises des distances interatomiques, mais on fera remarquer que les atomes sont jointifs et s'interpénètrent dans une molécule et qu'en conséquence les distances interatomiques sont du même ordre de grandeur que les rayons des atomes, donc de l'ordre de l'Angström ».

## 2.2 Programmes 1985

Sous le ministère de M. Jean-Pierre Chevènement, l'objectif du collège a changé. L'objectif est maintenant de « *faire accéder 80 % d'une classe d'âge au baccalauréat* ». La classe de 3<sup>e</sup> n'est plus une classe de fin d'études. On procède donc à la « rénovation des collèges ».

Le nouveau programme doit permettre « *la poursuite d'études scientifiques et techniques au meilleur niveau* ». L'examen des anciens programmes et la rédaction des nouveaux est confiée à la commission permanente de réflexion sur l'enseignement des sciences physiques (COPRESP) – dans laquelle les associations de professeurs ne sont pas représentées. L'horaire de Sciences physiques est toujours le même : une heure et demie par semaine pour chacune des quatre classes du collège. Ces programmes ont été appliqués aux rentrées scolaires 1986 (pour la 6<sup>e</sup>), 1987 (5<sup>e</sup>), 1988 (4<sup>e</sup>) et 1990 (3<sup>e</sup>).

### *Lecture des programmes et instructions*

(supplément au *BOEN* n° 44 du 12 décembre 1985)

**Classe de 6<sup>e</sup>** – Comme dans le précédent programme, le programme de 6<sup>e</sup> est consacré à l'étude macroscopique des propriétés physiques de la matière (volume et masse de solides et de liquides, changements d'état, température). Il aborde ensuite la constitution de l'air et les combustions (carbone, soufre, combustibles usuels).

**Classe de 5<sup>e</sup>** – On remarque que le concept d'élément disparaît totalement. Les difficultés d'enseigner ce concept, sans l'aide du modèle atomique, unanimement reconnues par les enseignants et soulignées par les travaux de Martinand (1979, 1980), ont amené les concepteurs de programme à reporter l'introduction de ce concept en classe de 2<sup>de</sup>.

Par contre, l'aspect « micro » est introduit dès la classe de 5<sup>e</sup> (et non plus en 4<sup>e</sup> comme dans le précédent programme). C'est dès le début du programme de chimie que l'existence des atomes et des molécules est affirmée « *sans essai de redécouverte* ». Les symboles et formules sont écrits par la même occasion. L'atome, premier « objet micro » introduit est décrit comme une sphère. Le modèle particulaire est abordé ensuite

seulement pour différencier les corps purs simples et les corps purs composés ainsi que les mélanges. Le concept de molécule se trouve donc introduit conjointement à celui d'atome (il n'apparaissait qu'en classe de 3<sup>e</sup> dans le programme de 77. La taille des atomes et molécules est exprimée en nanomètre (et non plus en Angström comme dans le programme précédent), cette orientation témoignant sans doute d'une volonté d'évoluer vers le Système International d'unités (SI).

On peut lire dans les instructions que « L'utilisation par le professeur et par les élèves des modèles moléculaires est recommandée, en particulier celle des modèles compacts qui rendent bien compte de l'encombrement des molécules sans privilégier les liaisons comme le font les modèles éclatés ».

**Classe de 4<sup>e</sup>** – En 4<sup>e</sup>, la structure atomique des métaux précède l'étude de la structure de l'atome : l'atome est constitué d'un noyau et d'électrons. Le symbole de l'électron est donné. La structure de l'atome permet ensuite l'interprétation électronique du courant électrique dans un métal. Le programme de 4<sup>e</sup> se termine sur la notion d'ions métalliques et de leurs formules. L'objectif final étant d'écrire les équations d'obtention des ions à partir du métal correspondant.

**Classe de 3<sup>e</sup>** – L'étude et la combustion de quelques corps moléculaires et solides, en 3<sup>e</sup>, permet enfin l'écriture des équations-bilan moléculaires. Les formules développées sont encore ici envisagées (pour le cas des alcanes simples).

Selon les instructions, « La mole et le nombre d'Avogadro étant hors du programme, la signification des formules sera strictement limitée à la composition en atomes à l'exclusion de toute considération de masse et de volume ». Par ailleurs on donne la préférence aux modèles moléculaires compacts, mais il est spécifié de ne pas les utiliser pour expliquer le mécanisme d'une réaction chimique : « Une large utilisation des modèles moléculaires est recommandée, mais le professeur veillera à ne jamais les employer pour suggérer des mécanismes de réaction ».

## 2.3 Programmes 1993

Depuis son introduction (en 1977), l'enseignement des sciences physiques au collège a déçu ! Dès 1990, M. Lionel Jospin, ministre de l'Éducation nationale, écrit au président de conseil national des programmes en lui demandant de recueillir l'avis du conseil « sur une nouvelle conception de l'enseignement de la physique et de la chimie au collège ». Cette lettre, condamnant la réforme de 1977, paraît au *BOEN* le 5 juillet 1990 :

« Les objectifs des auteurs de cette réforme n'ont manifestement pas été atteints, car aujourd'hui, trois constatations négatives peuvent être faites :

– L'organisation de cet enseignement n'obéit pas toujours à la cohérence nécessaire pour assurer une véritable progression des connaissances tout au long du collège ;

– le caractère expérimental de l'enseignement de ces disciplines est souvent sujet à caution, faute d'horaires et d'équipements de laboratoires de collège adaptés ;

– Un hiatus sépare l'enseignement de la physique et de la chimie entre le collège et le lycée.

Ainsi, tout en alourdissant le travail des élèves des classes de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>, l'enseignement des sciences physiques n'a pas répondu aux espoirs mis en lui ».

Conséquence : la suppression de l'enseignement de sciences physiques est décidée pour le cycle d'observation et devient effective à la rentrée scolaire 1991 pour la classe de 6<sup>e</sup>, en 5<sup>e</sup> l'année suivante. L'horaire hebdomadaire est légèrement augmenté : 2 heures par semaine dans chacune des deux classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> du cycle d'orientation.

Depuis la création du conseil national des programmes (CNP) en 1990, c'est aux groupes techniques disciplinaires (GTD) de physique et de chimie qu'est confiée la responsabilité de rédiger les projets de programmes de physique-chimie. Remarquons que pour la première fois, une association d'enseignants (Union des Physiciens) est associée à la phase de concertation. Ces nouveaux programmes sont appliqués en 1993 pour la classe de 4<sup>e</sup> et en 1994 pour la 3<sup>e</sup>.

Orientation intéressante : l'enseignement de la chimie devient thématique. Le thème choisi pour la classe de 4<sup>e</sup> est celui des eaux et boissons. En 3<sup>e</sup>, la chimie s'intéresse aux matériaux de notre environnement. De plus, parmi les principes directeurs de l'enseignement de la chimie au collège et au lycée, se trouve un large paragraphe relatif à la modélisation (document d'accompagnement 4<sup>e</sup>, 1993) : « La chimie a dû, pour progresser, se doter d'un langage qui lui est propre mais dont l'usage dépasse largement la discipline. Ce langage à base de symboles (H, C, Cu...) obéit à des règles strictes (valence) et permet aux chimistes de représenter dans l'espace à deux ou trois dimensions les structures qu'ils construisent. Les réactions chimiques peuvent être traduites dans ce langage sous forme d'équation-bilan. L'acquisition de ce langage et du vocabulaire qui y est associé (atome, molécule, ion, corps composé, élément, etc.) est nécessaire à qui veut « parler » chimie. Sous-jacent à ce langage, figure un certain nombre de concepts abstraits qui ont conduit au modèle particulière de la matière. L'enseignement de la chimie peut être

l'occasion idéale de développer l'utilisation d'un modèle, d'en montrer les limites, de le sophistiquer en fonction des besoins.

Par exemple, le modèle de l'atome commence par une sphère rigide au début du collège, puis se précise sous la forme d'un ensemble de noyau + électrons en fin de collège, enfin s'enrichit en seconde avec le cortège électronique en couches.

Toute la rigueur d'une discipline expérimentale est dans la bonne utilisation des modèles qu'elle utilise pour décrire une réalité souvent complexe. Les modèles n'ont nul besoin d'être mathématiques pour être rigoureux. La chimie comme la biologie fait largement appel à des modèles non mathématiques pour progresser ».

Par ailleurs, on note dans le document d'accompagnement pour la classe de 4<sup>e</sup> (1993) une nette évolution dans la justification implicite de l'introduction des objets du modèle : « En ce qui concerne la modélisation, le choix a été fait de ne présenter de nouvelles entités (atome, électron, proton, neutron) que lorsqu'elles sont nécessaires (ou du moins utiles) pour expliquer, ou pour prévoir les phénomènes étudiés ».

### ***Lecture des programmes et instructions***

(BOEN n° 31 du 30 juillet 1992 et n° 41 du 2 décembre 1993)

Comme dans le programme précédent (1985), on constate que le concept d'élément n'est pas abordé au collège. Le modèle particulaire n'est pas enseigné, ce qui est logique puisque, dans cet enseignement thématique, débutant en 4<sup>e</sup> seulement, les propriétés physiques de la matière n'ont pas été étudiées en préambule.

**Classe de 4<sup>e</sup>** – Après une introduction rapide sur le rôle de l'eau dans les organismes vivants et sa place dans l'alimentation, le premier concept « micro » introduit en classe de 4<sup>e</sup> est, non plus l'atome, mais la molécule (eau et cyclohexane ou éthanol), ce choix n'étant pas justifié dans les textes officiels. Curieusement, les formules de ces molécules ne sont pas introduites, mais leurs tailles, et leurs formes sont décrites (il est même recommandé d'utiliser à ce stade des modèles compacts ne faisant pas apparaître les atomes constituants).

Afin d'expliquer la conductivité, de certaines solutions aqueuses la deuxième entité introduite lors de cette première année de chimie est l'ion (jusqu'à présent, l'ion était toujours présenté après les concepts d'atome et de molécule). Les ions sont désignés par leur nom et leur formule (formule qui « *pourra être présentée, dans un premier temps, même si sa signification n'est précisée qu'après l'introduction du premier modèle d'atome* »).

Après les concepts de molécule et d'ion est introduite une première approche du concept d'atome afin d'aborder la notion de réaction chimique. « Les atomes seront présentés comme des sphères ; ils seront distingués par leur symbole, leur rayon relatif, leur masse ». Il faut noter que, sans que cela soit justifié dans les programmes, la masse devient pour la première fois une des grandeurs caractérisant l'atome. Il fallait auparavant éviter de parler de cette grandeur... la mole et le nombre d'Avogadro n'étant pas au programme !

Le programme donne le choix pour l'unité du domaine microscopique : le nanomètre ou le picomètre.

L'écriture des symboles des atomes d'oxygène, d'hydrogène et de carbone, permet d'aborder l'écriture des formules moléculaires (dihydrogène, dioxygène, eau, monoxyde de carbone, dioxyde de carbone) ; les réactions d'électrolyse de l'eau et de combustion du carbone et du dihydrogène amènent à écrire les premières équations-bilan moléculaires (cette notion était reportée en classe de 3<sup>e</sup> dans les deux programmes précédents). À ce stade est préconisée l'utilisation de modèles moléculaires compacts faisant apparaître les atomes comme des entités différenciées, ce qui « permettra de visualiser les réactifs et les produits de combustion et constituera une aide pour l'écriture des équations-bilan » (aide jusqu'à présent fortement déconseillée !).

**Classe de 3<sup>e</sup>** – Après une introduction traitant des propriétés et utilisations des matériaux qui nous entourent, le programme de chimie de 3<sup>e</sup> envisage le comportement de ces matériaux dans notre environnement. Les réactions de ces matériaux avec le dioxygène de l'air permettent d'introduire le modèle de l'état solide métallique. C'est pour interpréter les réactions des matériaux avec l'eau et les solutions acides et basiques qu'est précisée la notion d'ion abordée dans la classe précédente. L'introduction d'un nouveau modèle de l'atome (noyau et électrons) permet alors d'interpréter les réactions chimiques mises en jeu et d'écrire les premières équations-bilan ioniques (jusque là écrites en 4<sup>e</sup>). On remarque que l'enseignement des formules développées, jusque là effectué en 3<sup>e</sup>, disparaît complètement dans ce programme (peut-être pour ne pas avoir à aborder la notion de liaison entre atomes ?).

## 2.4 Programmes 1997

Alors que M. François Bayrou est ministre de l'Éducation nationale, on procède à une nouvelle rénovation du collège. Celui-ci est alors découpé en 3 cycles pédagogiques : le cycle d'adaptation correspond à l'année de 6<sup>e</sup> ; le cycle central dure deux années (classes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup>) ; le cycle d'orientation correspond à la dernière année de collège avec la classe de

3<sup>e</sup>. On procède alors à une réintroduction de l'enseignement des sciences physiques en 5<sup>e</sup>. Les nouveaux programmes proposés par le groupe technique disciplinaire (GTD) de physique-chimie prennent en compte les programmes de l'école primaire (programmes 1995) et leurs objectifs sont ambitieux : « former les esprits à la rigueur, à la méthode scientifique, à la critique et l'honnêteté intellectuelle, [...] susciter la curiosité, [...] former au raisonnement, [...] susciter des vocations scientifiques... » (BOEN hors-série n° 1 du 13 février 1997). L'enseignement doit faire ressortir que la physique et la chimie sont des éléments de culture essentiels en montrant que le monde est intelligible... De nouveaux documents d'accompagnement des programmes, élaborés par le GTD paraissent (pour les classes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> en 1997, pour la classe de 3<sup>e</sup> en 1999). L'horaire de sciences physiques est modulable : 1 heure et demi à 2 heures par semaine en 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> selon les collèges, 2 heures par semaine en 3<sup>e</sup>.

### ***Lecture des programmes et instructions***

(BOEN hors-série n° 1 du 13/02/0997 et hors-série n° 10 du 15/10/1998)

Le concept d'élément, comme dans les programmes 1985 et 1993, n'est pas abordé au collège. Comme dans le programme 1993, on note cette volonté d'introduire les différents concepts et modèles uniquement lorsque leur introduction s'avère nécessaire à la compréhension d'un nouveau phénomène.

**Classe de 5<sup>e</sup>** – Sur l'exemple de l'eau, les propriétés de la matière (solide, liquide, gaz) et leurs transformations constituent l'essentiel du programme de chimie de 5<sup>e</sup>. Le modèle particulaire, quelquefois dénommé « modèle moléculaire » est « réintégré » pour interpréter les propriétés physiques de la matière (changements d'état, compressibilité des gaz, etc.) ou pour distinguer mélange et corps pur. C'est ainsi qu'une étude documentaire sur l'histoire du « modèle moléculaire » est proposée comme exemple d'activité. Comme dans le programme 1985, la molécule est donnée comme premier exemple de particule et les trois états de la matière sont décrits à travers le « modèle moléculaire ». Cependant, le programme envisage l'introduction de ce modèle au dernier chapitre seulement, à titre de « révision » de toutes les propriétés étudiées jusqu'à présent du point de vue macro. Il faut cependant remarquer que le programme laisse une certaine part de liberté à l'enseignant : « la présentation du modèle moléculaire peut être faite par le professeur au moment qu'il juge opportun dans sa progression ».

Le document d'accompagnement des classes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> (1997) fournit aux enseignants des outils pédagogiques efficaces comme une « brève histoire de la théorie moléculaire » et une proposition de démarche

d'introduction du modèle particulaire. Cette progression pédagogique, directement inspirée des travaux de didactique de A. Chomat, C. Larcher et M. Meheut (1988), amène l'élève à prendre connaissance d'un modèle, à l'appliquer à des situations expérimentales (la compressibilité des gaz par exemple), à le faire évoluer pour l'adapter à de nouvelles situations...

**Classe de 4<sup>e</sup>** – En 4<sup>e</sup>, le programme de chimie se poursuit par l'étude de l'air et du dioxygène. Les réactions de combustion du carbone et du méthane fournissent l'occasion d'introduire l'atome (comme constituant des molécules). On écrit les symboles des atomes, les formules de quelques molécules ( $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ) puis les premières équations-bilan moléculaires.

Le recours aux « modèles moléculaires » compacts est recommandé pour représenter les molécules des réactifs et des produits mais leur utilisation pour expliquer les mécanismes réactionnels est de nouveau déconseillée : « Il est recommandé d'utiliser des modèles compacts, représentations plus fidèles des structures microscopiques. Les atomes seront représentés comme des sphères. Ils seront distingués par un symbole : aucune connaissance de leur structure ne sera apportée dans cette classe. Le professeur gardera à l'esprit que les opérations de désassemblage et de réassemblage des atomes au cours des manipulations de modèles compacts ne correspondent pas, en général, à de véritables mécanismes réactionnels ».

La dimension atomique préconisée dans le programme est la dixième de nanomètre.

**Classe de 3<sup>e</sup>** – Dans cette classe, c'est dans la rubrique « matériaux et électricité » qu'est présenté le modèle « structure » de l'atome : atome constitué d'un noyau entouré d'électrons. Comme dans le programme 1993, la structure de l'atome est donc introduite en 3<sup>e</sup>, mais ici dans le but d'expliquer le modèle du courant électrique dans un métal.

L'ion est alors défini (à partir de l'atome) et la nature du courant dans les solutions est interprétée. Plus loin, le concept d'ion permet d'expliquer la réaction des solutions acides avec les métaux. On s'exerce à l'écriture de quelques formules ioniques et équations-bilan ioniques. On peut noter ici que le concept d'ion, qui était introduit en 4<sup>e</sup> dans tous les programmes précédents, est donc repoussé en 3<sup>e</sup>, ainsi que l'écriture des équations-bilan ioniques.

## 2.5 Nouveaux programmes (2006)

Sous la présidence de M. Jean-François Bach, un groupe d'experts a étudié les programmes actuels du collège dans les disciplines

qui constituent le pôle des sciences (mathématiques, physique-chimie, sciences de la vie et de la Terre, éducation physique et sportive). Le rapport Bach (2003) a été suivi d'une consultation nationale présentant les programmes du cycle central et de la classe de 3<sup>e</sup>. Les programmes définitifs de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> sont parus au *BOEN* Hors-Série n° 5 du 25 août 2005 pour être mis en application aux rentrées 2006 et 2007 respectivement. L'introduction générale de ce document précise que « ce n'est qu'au cycle central que la physique-chimie apparaît en tant que discipline à part entière » et qu'elle « doit rester à ce stade fortement corrélée aux autres disciplines scientifiques [...] en contribuant à l'éducation du citoyen, en particulier dans sa relation avec l'environnement en participant à l'éducation à l'environnement pour un développement durable (EEDD) ». L'enseignement « doit faire ressortir que la physique et la chimie sont des éléments de culture essentiels en montrant que le monde est intelligible ».

### ***Lecture des programmes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> et du projet de programme de 3<sup>e</sup>***

(*BOEN* hors-série n° 5 du 25/08/2005 et rapport Bach, 2003)

**Classe de 5<sup>e</sup>** – Le programme est orienté vers l'expérimentation réalisée par les élèves dans le cadre d'une démarche d'investigation. Il propose une vision uniquement macroscopique des propriétés de la matière (états de la matière, changements d'état, mélanges et corps purs, etc.), et, comme dans le tout premier programme en vigueur au collège (1977), reporte l'aspect microscopique des phénomènes en classe de 4<sup>e</sup>.

**Classe de 4<sup>e</sup>** – Après la composition de l'air et le caractère compressible et pesant des gaz, le programme envisage d'introduire dans un premier temps la molécule à partir des deux exemples de l'eau et de l'air. La notion de molécule (sans pour autant décrire sa constitution en atomes) permettra d'interpréter les propriétés physiques de la matière abordées précédemment (compressibilité de l'air, différences entre corps purs et mélanges, différences entre les trois états physiques de l'eau, conservation de la masse lors des changements d'états et lors des mélanges, etc.). L'enseignement du « modèle particulaire », préambule habituel à l'introduction de la molécule, est proposé, comme dans le programme précédent, dans le but d'interpréter la compressibilité des gaz et on retrouve suggérée la même activité (étude documentaire sur l'histoire du « modèle moléculaire ») que dans le programme précédent.

Après ce modèle, dans un deuxième temps, le programme aborde l'étude des combustions et présente la molécule comme constituée d'atomes (sans description de la structure interne de l'atome) afin de pouvoir interpréter quelques unes de ces combustions. Les atomes sont représentés par des symboles, les molécules par des formules. On

écrit alors les premières équations de réaction (terme remplaçant celui d'équations-bilan) moléculaires.

Les commentaires apportent à l'enseignant des précisions intéressantes : « En ce qui concerne la description moléculaire de la matière, le professeur se rappelle que les concepts de molécule et d'atome, initialement imaginés comme des modèles susceptibles de rendre compte de propriétés macroscopiques de la matière ont acquis progressivement de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à nos jours le statut de véritables objets microscopiques. On réalise des jets moléculaires et des jets atomiques ;[...] une difficulté de l'enseignement dans ce domaine provient de l'existence de divers niveaux de description. Les connaissances acquises à ce jour permettent de se représenter ces objets microscopiques par des emboîtements successifs, à l'image des « poupées russes » [...]. D'un point de vue pédagogique il convient à chaque niveau d'enseignement, de limiter cette description au niveau qui est suffisant pour l'interprétation des phénomènes pris en compte. Ainsi, le fait que les molécules puissent être décrites comme des assemblages d'atomes ne joue pas de rôle tant que l'on ne décrit pas de réactions chimiques. Le professeur garde en mémoire que ce niveau de description n'apporte rien dans l'explication d'un changement d'état par exemple. On indique qu'un long processus historique a conduit à proposer une description des solides, des liquides et des gaz comme un assemblage de « grains de matière » qu'à titre provisoire et dans le cadre du programme, on désigne sous le nom de « molécules ». Le programme spécifie d'ailleurs un recours possible à l'histoire des sciences comme exemple d'activité : « de l'évolution du modèle moléculaire à la réalité de la molécule ». Il est recommandé ensuite d'utiliser des modèles moléculaires compacts, « représentations plus fidèles des structures microscopiques. [...] Le professeur garde à l'esprit que les opérations de désassemblage et de réassemblage des atomes au cours des manipulations des modèles compacts ne correspondent pas, en général, à de véritables mécanismes réactionnels qui ne sont étudiés actuellement qu'au niveau post-baccalauréat de l'enseignement général ».

**Classe de 3<sup>e</sup>** – À la date où nous rédigeons cet article, les programmes de physique-chimie pour la classe de 3<sup>e</sup> ne sont pas encore officiellement parus. Nous examinons donc le projet de programme paru dans le rapport Bach, 2003.

Contrairement au programme précédent, la structure atomique (noyau et électrons) ne précède pas l'introduction du concept d'ion. La compréhension de la conduction électrique dans les métaux, puis dans les liquides, amène au concept de charge électrique (électrons et ions) et conduit alors ensuite à une description plus élaborée de la structure de l'atome (noyau de charge positive entouré d'un cortège électronique dans lequel est réparti la charge négative). Les dimensions de l'atome

exprimées sont de l'ordre du dixième de nanomètre. On lit en commentaire : « L'existence des atomes étant rappelée aux élèves, une introduction historique leur est proposée pour leur faire prendre conscience que le modèle de l'atome qui leur est présenté est le fruit des efforts de plusieurs générations de scientifiques ».

Ultérieurement, après l'étude du pH, la réalisation expérimentale de quelques tests de reconnaissance d'ions amène les élèves à l'utilisation des formules de quelques ions monoatomiques. Puis, la réaction entre le fer et l'acide chlorhydrique conduit à considérer une transformation chimique dans laquelle interviennent des espèces ioniques. Cependant, l'écriture d'équations de réactions où interviennent des ions ne fait plus partie du programme. Le rapport Bach prévoit simplement que le bilan d'une réaction faisant intervenir des ions en solution s'écrira simplement en toutes lettres : il ne sera pas écrit d'équation.

### 3 POUR FAIRE LE POINT... QUELQUES QUESTIONS

L'étude menée sur l'évolution des programmes met en avant les tâtonnements relatifs à l'introduction des différents concepts évoqués. Ainsi, on voit disparaître très rapidement la notion d'élément (programmes 1985), le modèle particulaire quant à lui étant abordé à différents niveaux de progression, voire même temporairement supprimé (programmes 1993). Par contre, une logique semble vouloir s'installer à partir des programmes de 1993 : la volonté d'introduire les concepts en réponse à une nécessité semble prévaloir. Par exemple l'introduction des symboles des atomes indispensable à l'écriture des formules moléculaires précède l'introduction de ces dernières. Cependant, comme nous l'avons indiqué dans la lecture des différents programmes ces nécessités ne relèvent pas toutes de la même justification. Par exemple l'étude de la structure de l'atome permet d'interpréter les réactions ioniques dans les programmes de 1993 alors que cette étude permet tout d'abord de justifier le modèle du courant électrique dans un métal dans le programme de 1997.

Cependant, d'autres exemples sont significatifs de certains tâtonnements des concepteurs de programmes :

Le choix de l'unité du domaine microscopique varie. Si, pour évoluer vers le Système International, l'angström du programme 1977 est abandonné dès 1985, le choix de l'unité atomique est encore fluctuant : nanomètre (1985), nanomètre ou picomètre (1993), dixième de nanomètre (1997, 2006), sans que ces variations ne soient justifiées.

L'évocation de la masse de l'atome est proscrite (1977 et 1985) ; sans que cela soit explicité elle devient une grandeur significative caractérisant l'atome en 1993 ;

Le recours aux modèles moléculaires (dans le sens de maquettes) pour expliquer le mécanisme de la réaction chimique est tour à tour totalement proscrit (1985), préconisé pour l'écriture des équations (1993), déconseillé (1997).

Les difficultés rencontrées par les prescripteurs de programme ne sont sans doute pas étrangères à la nature des concepts et elles rejoignent celles pointées par les chercheurs en didactique (voir première partie). Aussi, il nous a semblé intéressant d'interroger l'inscription temporelle des concepts étudiés pour tenter de mieux les appréhender dans le but de palier les difficultés rencontrées par les enseignants confrontés à cette diversité d'approches dans les programmes.

### 3.1 Logique ascendante ou descendante ?

À l'aube de la mise en application de ces nouveaux programmes de physique-chimie (rentrée 2006 pour la classe de 5<sup>e</sup>), on peut se demander la raison de ces fluctuations dans les curricula successifs du collège. Quelle logique a éclairé les différents concepteurs de ces programmes ?

Les programmes 1977 et 1985 abordaient l'enseignement de la chimie sous son aspect microscopique, l'atome étant le premier objet de savoir introduit pour éclairer seulement ensuite les phénomènes macroscopiques. Ils semblaient donc procéder d'une logique « ascendante » impliquant un enseignement de type « expositif », « efficace », dépouillé des errements inhérents au développement de la science et effectué par un enseignant détenteur d'un savoir déjà organisé.

Les programmes 1993 et 1997, ainsi que les nouveaux programmes 2006 s'inspirent plutôt d'une logique inverse, partant des phénomènes macroscopiques et faisant appel aux aspects microscopiques en second lieu et seulement quand cela devient nécessaire pour leur compréhension. Cette logique « descendante » est liée nous semble-t-il à la volonté de donner du sens en partant du concret, avec l'espoir secret de motiver les élèves et de les amener à un questionnement. Cet enseignement fait davantage appel à l'utilisation par les élèves d'un modèle, ce dernier étant un outil intégrateur indispensable à la compréhension des phénomènes observables. Dans cette situation, l'élève est quelquefois placé en situation de recherche face à un enseignement « problématisé ».

### 3.2 Modèle particulaire ou modèle moléculaire ?

L'expression « modèle moléculaire » apparue dans le programme 1997 génère, à notre avis, une certaine ambiguïté, que l'on retrouve d'ailleurs dans les programmes 2006. En premier lieu, même si la première des particules étudiées au cours de ces programmes est la molécule, il nous semble important que le terme « molécule » ne remplace pas celui de « particule ». Ce dernier en effet renvoie à une signification bien précise en chimie, héritée du sens donné par les philosophes grecs de l'Antiquité : « grain de matière » ou « plus petite partie de matière ». En effet, la particule se place au cœur même du problème initial posé par l'étude de la matière : la matière est-elle continue ou discontinue ? C'est cette « particule » qui se révélera, selon les cas, au cours de l'histoire, molécule, atome ou ion.

Mais peut-on construire ces concepts sans interroger le problème de continuité ou discontinuité de la matière ? Il nous semble donc que le modèle particulaire soit un passage obligé avant d'aborder le concept de molécule et que le terme « modèle moléculaire » proposé par le programme dans le sens de modèle particulaire devienne une source de confusion pour les élèves. En effet, en chimie, l'expression « modèle moléculaire » recouvre également une autre signification : celle d'une maquette (couramment utilisée au collège) constituant une représentation matérielle d'une molécule (ou plus récemment, une image en trois dimensions que l'on peut faire tourner grâce à l'ordinateur). Puisqu'une molécule est faite d'atomes, on représente habituellement ces différents atomes comme des sphères dures en bois, métal ou plastique, de couleurs conventionnelles, réunies par des tiges rigides ou des ressorts figurant les liaisons et vibrations moléculaires. Le modèle moléculaire ainsi constitué réunit les informations structurales dont on dispose sur une molécule : la distance entre les centres des sphères représente la distance réelle entre les noyaux des atomes, que l'on détermine par diffraction des rayons X par exemple. Les programmes utilisent d'ailleurs également l'expression « modèle moléculaire » avec cette dernière signification, entretenant par là même la confusion.

### 3.3 À quel âge les enfants sont-ils capables d'aborder le domaine microscopique ?

Le programme de chimie 2006 reporte à la classe de 4<sup>e</sup> le recours à l'utilisation des modèles microscopiques. Le rapport Bach (2003) explique la raison de ce report : « En classe de 4<sup>e</sup>, les capacités cognitives reconnues pour les élèves de cet âge permettent d'aborder valablement

les modèles microscopiques, les connaissances mathématiques disponibles (puissances de dix) permettant notamment de se représenter les dimensions de la molécule et de l'atome. Le modèle moléculaire peut être étayé à ce niveau non plus seulement par l'exemple de l'eau, mais aussi par celui de l'air, ce qui correspond à une démarche scientifique plus satisfaisante ».

On peut cependant s'interroger sur le bien-fondé de ce décalage. En effet, il ne nous semble pas impossible d'introduire le modèle particulaire dès la classe de 5<sup>e</sup>. Depuis les programmes 1997, de nombreux enseignants, à l'instar du document d'application pour la classe de 5<sup>e</sup> (1997), largement inspiré des travaux de Chomat, Larcher et Méheut (1988), ont pu le faire sans difficulté. C'est, nous semble-t-il, une étape préalable naturelle à l'introduction, les années suivantes, des différentes acceptions de ce terme fondateur : molécule, atome, ion. D'autre part, le programme de sciences de la vie et de la Terre introduit la notion de cellule dès la classe de 6<sup>e</sup>, et même les notions de globule rouge, spermatozoïde, ovule, etc. dès le cycle 3 de l'école primaire ! Les capacités cognitives reconnues des élèves sont-elles différentes d'une discipline à l'autre ?

En fait, l'utilisation du modèle particulaire ne nécessite absolument pas la maîtrise des puissances de 10. On est par ailleurs en droit de se demander si cette maîtrise des puissances de 10 permet véritablement de se représenter des dimensions de l'ordre du millième de micromètre !

Par ailleurs, on trouve dans les idées directrices des programmes 1997 (*BOEN* hors-série n° 1 du 13 février 1997) tout comme dans l'introduction générale des programmes 2006 des collèges (*BOEN* hors-série n° 5 du 25 août 2005) un argument venant appuyer l'idée de l'inutilité de connaissances mathématiques poussées dans ce domaine particulier : « L'étude de la matière et de ses transformations est par excellence le domaine du raisonnement qualitatif où il s'agit en général moins de savoir utiliser des outils mathématiques que de déceler, sous le phénomène complexe, les facteurs prédominants. Le qualitatif n'est pas la solution de facilité : il est beaucoup plus aisé d'effectuer un calcul juste que de tenir un raisonnement pertinent ».

Les enfants accèdent facilement à l'idée de particule microscopique (invisible à l'œil nu). Le programme 1997 pointait d'ailleurs le caractère relatif du concept d'homogénéité dans la mesure où l'aspect de la matière dépend de l'échelle d'observation : « On pourra approfondir le concept d'homogénéité en montrant son caractère relatif dans la mesure où l'aspect de la matière dépend de l'échelle d'observation. Un exemple simple qui a inspiré les philosophes de l'Antiquité est celui d'une plage de sable dont le caractère granulaire n'apparaît qu'à l'observation rapprochée. C'est l'extrapolation de cette idée vers le domaine microscopique qui est à l'origine de l'hypothèse atomique ».

Afin de rendre intelligible le monde, le physicien est amené à construire et utiliser des modèles. Conformément aux indications des programmes, il a semblé également utile de développer cette activité chez les enfants et la preuve de l'intérêt des activités de modélisation à l'école n'est plus à faire. Ainsi, l'enseignement scientifique moderne accorde une part non négligeable à l'enseignement des modèles, en particulier le modèle particulaire. Mais pourquoi attendre la 4<sup>e</sup> pour l'introduire ? Dans de nombreux pays (Danemark, Écosse, Angleterre, Pologne, etc.), des modèles particuliers sont introduits avec succès dès les premières années d'enseignement (Chomat *et al.*, 1988).

Nous avons mis en évidence les hésitations et contradictions des divers auteurs des programmes relatifs aux aspects macroscopiques et microscopiques de la matière. Il nous semble cependant que deux nécessités traversent ces programmes ; la première concerne l'aspect modélisation, dont elle souligne l'importance alors que la seconde, plus récente, renvoie à la présentation d'une science moins coupée de ses racines historiques. Le rôle de la modélisation est essentiel et si l'enseignement des sciences physiques revient souvent à des activités de modélisation, paradoxalement, les programmes ne proposent pas de véritables activités de modélisation. Nous faisons l'hypothèse que cela est possible, en utilisant justement certains éléments d'histoire des sciences ; c'est ce que l'on suggère avec la séquence proposée dans la partie suivante.

## **4 SUGGESTION D'UNE SÉQUENCE « INSPIRÉE » PAR L'HISTOIRE DES SCIENCES**

Cette séquence d'enseignement s'organise selon trois séances susceptibles d'être menées en classe de 4<sup>e</sup>. La première séance permet d'aborder la notion de modèle, la seconde permet de découvrir deux conceptions de la matière qui se sont longuement opposées dans l'Histoire. La troisième séance permet de débattre au sujet de la controverse relative à ces deux conceptions puis de s'approprier le modèle actuellement reconnu. Pour chaque séance nous précisons les objectifs visés et proposons un scénario pour la classe. Enfin, à destination des enseignants, un bref historique indiquant quelques « temps forts » de l'histoire de l'atome a été rédigé.

Il nous a semblé difficile d'aborder ces notions en utilisant des ressources primaires qui auraient nécessité de retirer des textes d'Aristote par exemple, des extraits complets, précis tout en étant suffisamment simples pour des élèves du collège. Aussi, nous avons fait le choix de construire des textes concis permettant de retracer quelques aspects de l'évolution des idées dans le domaine.

C'est en ce sens que la séance que nous proposons n'est pas une séance d'histoire des sciences mais qu'elle est « inspirée » par l'évolution des idées qui l'ont traversée.

## 4.1 Présentation et analyse du déroulement des séances

### *Séance 1 – Qu'est ce qu'un modèle ?*

Objectifs de la séance :

- Première approche de la notion de modèle en science :
- savoir qu'un modèle n'est pas la réalité mais une représentation de cette dernière,
- savoir qu'un modèle est utile : il décrit, explique, permet de prévoir.

### *Activités*

Étape 1 : Travail à partir du texte « Les aveugles et l'éléphant<sup>3</sup> ». Les élèves, par groupes de 4 ou 5 disposent d'un document (Fiche élève 1, document 1) présentant le texte et les questions auxquelles ils doivent répondre. Prévoir pour chaque groupe une feuille de format A3 ainsi que des feutres.

#### **Les aveugles et l'éléphant**

Six hommes d'Hindoustan, très enclins à parfaire leurs connaissances allèrent (bien que tous fussent aveugles) « voir » un éléphant afin que chacun, en l'observant, puisse satisfaire sa curiosité.

Le premier s'approcha de l'éléphant et perdant pied, alla buter contre son flanc large et robuste. Il s'exclama aussitôt : « Mon Dieu ! Mais l'éléphant ressemble beaucoup à un mur ! »

Le second, palpa une défense, s'écria : « Ho ! Qu'est-ce que cet objet si rond, si lisse, si pointu ? Il ne fait aucun doute que cet éléphant extraordinaire ressemble beaucoup à une lance ! »

(3) Cette première séance est inspirée du travail de France Garnier « Les atomes et l'aveugle » (<http://www.apsq.org/sautquantique/>)

Le troisième s'avança vers l'éléphant et, saisissant par inadvertance la trompe qui se tortillait, s'écria sans hésitation : « Je vois que l'éléphant ressemble beaucoup à un serpent ! »

Le quatrième, de sa main fébrile, se mit à palper le genou. « De toute évidence, dit-il, cet animal fabuleux ressemble à un arbre ! »

Le cinquième toucha par hasard l'oreille et dit : « Même le plus aveugle des hommes peut dire à quoi ressemble l'éléphant ; nul ne peut me prouver le contraire, ce magnifique éléphant ressemble à un éventail ! »

Le sixième commença juste à tâter l'animal, la queue qui se balançait lui tomba dans la main. « Je vois, dit-il, que l'éléphant ressemble beaucoup à une corde ! »

Ainsi, ces hommes d'Hindoustan discutèrent longuement, chacun faisant valoir son opinion avec force et fermeté. Même si chacun avait partiellement raison, tous étaient dans l'erreur.

John Godfrey Saxe, poète américain (1816-1887)

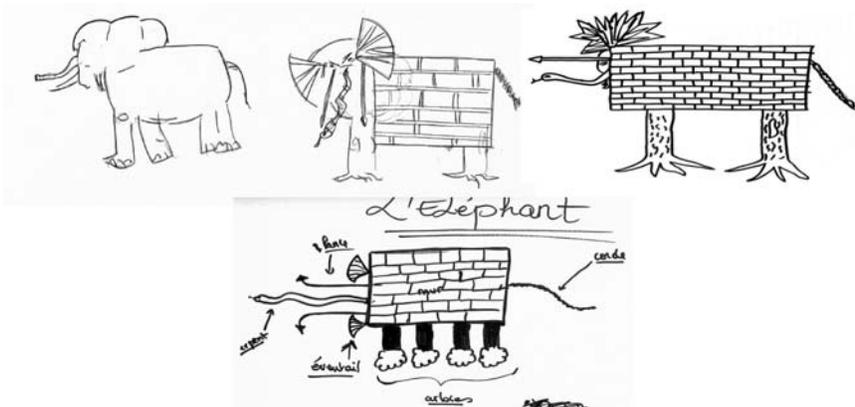
Question 1 : À partir de l'ensemble des observations effectuées, dessinez l'éléphant tel qu'il est perçu par les aveugles.

Question 2 : Ce dessin est-il la réalité ? Pourquoi ?

Question 3 : Ce dessin est appelé un *modèle* c'est-à-dire une représentation de la réalité, quel peut être son intérêt ?

Document 1

Étape 2 : Travail de mise en commun avec affichage des dessins obtenus (voir Document 2)



Document 2

Le maître engage le débat en incitant les élèves à relever les points communs et les différences entre les divers dessins et leur adéquation avec les directives du texte. Il discute ensuite la question 2 qui permet d'aborder les notions de réalité et de représentations qu'il est possible d'en donner. En particulier si chacun s'accorde sur le fait que le dessin n'est pas « la réalité » et que cette dernière est unique, il est possible de qualifier de « représentation » le point de vue des aveugles. Par ailleurs la question 3 permet d'interroger la fonction du modèle : quel peut être l'intérêt de représenter un éléphant en associant un mur, des arbres ? Le modèle permet ici de décrire mais également de dégager certaines propriétés, il permet d'expliquer (c'est parce qu'il est constitué d'un mur que l'éléphant est très solide), et a de ce fait une valeur heuristique incontestable. Le maître pourra enfin orienter les élèves vers l'aspect prédictif du modèle. Grâce aux connaissances données par le modèle, qu'est-il possible de prévoir quant au comportement de l'éléphant (mobilité, mode d'alimentation...) ?

### ***Analyse du déroulement de la séance***

Cette séance a donné lieu à une expérimentation menée en classe. C'est la phase de débat qui suit la lecture du texte et la réalisation du dessin dont nous retraçons ici les étapes significatives, celles où ont été débattues les notions de « réalité » ainsi que celles liées à une « représentation de la réalité ».

Si la question « ce dessin est-il la réalité ? » semble impliquer une réponse sans ambiguïté indiquant que les éléphants ne ressemblent que de très loin à ce qui a été dessiné par les élèves, le maître constate des hésitations de la part de ces derniers. Certains répondent « non, bien sûr » car ils savent qu'un éléphant n'est pas fait ainsi alors que d'autres se placent du côté des aveugles : « si nous étions aveugles, alors c'est comme cela que nous verrions l'éléphant » Cette dernière intervention permet de discuter la question de point de vue et certains élèves formulent la proposition suivante : « ce n'est pas la réalité pour nous, mais c'est la réalité pour les aveugles ». Le maître peut alors demander s'il existe plusieurs réalités, celle des aveugles et la nôtre. Cette question délicate ne semble pas perturber les élèves qui s'appuient sur l'exemple du texte pour argumenter : « Nous voyons l'éléphant de cette manière, les aveugles le voient d'une autre manière ». Un consensus semble se dégager dans la classe : il y a donc plusieurs manières de voir la réalité. Un des élèves perplexe bute sur le mot « voir », car, précise-t-il, les aveugles ne voient pas. Il demande alors « la vision et l'imagination, ce n'est pas la même chose ? ». Après discussion sur les termes « voir » et « imaginer », le groupe décide de changer le « voir » des aveugles : le dessin de l'éléphant est ce que les aveugles imaginent de l'éléphant.

À cette étape l'enseignant introduit le mot « représentation » (c'est comme cela que les aveugles se représentent les éléphants) et indique qu'en sciences, on utilise aussi le terme de « modélisation » : un modèle, comme celui de l'éléphant dessiné par les aveugles, est une représentation de la réalité mais n'est pas la réalité elle-même.

La dernière étape est en lien avec la question 3, l'enseignant aborde l'intérêt de la modélisation : « Pour les aveugles, en quoi est-ce intéressant de disposer d'un tel modèle de l'éléphant ? ». Il n'a pas été facile de faire émerger cet intérêt, c'est le maître qui a dû suggérer un certain nombre d'éléments : « Un aveugle pourra à l'aide de ce modèle prévoir certains comportements de l'éléphant : s'il fonce sur l'éléphant, il s'écrasera dessus comme contre un mur ; si l'éléphant lui court après, il pourra être percé par les lances ». Il engage les élèves à trouver d'autres illustrations significatives du caractère prédictif du modèle.

### ***Séance 2 – La matière est-elle continue ou discontinue ? Les modèles de Démocrite et d'Aristote.***

Objectifs de la séance :

Être capable de s'approprier un modèle d'après un texte, de le transposer (textes et schémas) et de l'exposer oralement.

#### ***Activités***

Au V<sup>e</sup> siècle avant Jésus-Christ, dans la Grèce antique, des philosophes s'interrogent sur la nature de la matière. De quoi sont faits le ciel, la mer et les choses si différentes qui nous entourent ? Comment se fait-il qu'une même matière, l'eau par exemple, puisse exister sous des états différents (la glace, l'eau liquide et la vapeur) ? Que devient le sucre lorsqu'il se dissout dans de l'eau ? A-t-il entièrement disparu ?

Démocrite et Aristote penseurs de cette époque se posèrent ces questions mais leurs réflexions ont abouti à des modèles différents de la matière.

Précisons que ces théories sur la continuité ou la discontinuité de la matière des grecs sont basées sur des réflexions. Elles ne sont pas le fruit d'une démarche expérimentale telle que nous la pratiquons de nos jours. Mais ce sont ces réflexions qui ont servi de base à la science : le désir d'expliquer rationnellement le monde dont nous faisons partie.

### Texte 1 : **Le modèle de Démocrite**

Démocrite affirme que la matière est discontinue et qu'elle est composée de particules indivisibles. Ainsi, selon son idée, si l'on divisait un bijou en argent en petits morceaux de plus en plus petits, il arriverait un moment où l'on n'y parviendrait plus ; on obtiendrait alors un minuscule morceau incassable et indivisible et qui aurait encore toutes les propriétés de l'argent. Ce petit morceau ou cette particule serait tellement petit qu'il nous serait impossible de le voir à l'œil nu. Toutes les particules sont indivisibles et incassables mais elles ont des formes différentes : en les regroupant elles forment tous les objets que nous voyons autour de nous. Voici donc le modèle (c'est-à-dire la représentation ou l'image) de la matière proposé par Démocrite. Avec son modèle, Démocrite peut expliquer les changements d'état de la matière. Ainsi ce sont les mêmes particules qui forment l'eau, que celle-ci soit solide, liquide ou gaz. Mais ces particules sont plus ou moins rapprochées les unes des autres, voici ce qui explique cette différence d'état. Et qu'est devenu le sucre une fois dissous dans de l'eau ? Il n'a pas disparu, mais les particules de sucre se sont mélangées aux particules d'eau, elles se sont glissées entre les particules de l'eau. Si nous étions capables de voir, si notre vue était suffisamment perçante, nous ne verrions pas de l'eau sucrée, mais des particules de sucre mêlées à des particules d'eau.

À partir de ce texte essaye de dessiner la matière telle que l'imaginait Démocrite. Ton affiche doit expliquer le modèle de Démocrite à un visiteur ignorant tout de ce sujet !

### Texte 2 : **Le modèle d'Aristote**

Aristote affirme que la matière est continue : elle remplit complètement l'espace qu'elle occupe. Il n'y a pas de trous dans la matière.

La matière est formée à partir de quatre corps simples : la terre, l'eau, l'air et le feu. Chacune de ces substances est à son tour regardée comme une combinaison de deux des quatre qualités opposées suivantes : le chaud, le froid, le sec et l'humide. Ainsi la terre est sèche et froide, l'eau chaude et humide, l'air sec et chaud et le feu chaud et sec. Toutes les autres substances proviennent de ces quatre corps simples. Ainsi pour Aristote, le fait de chauffer de l'eau – froide et humide – permet d'obtenir un élément – chaud et humide –, soit de l'air ! À l'inverse, le refroidissement de l'air conduit pour lui à l'obtention d'eau.

Voici donc le modèle (c'est-à-dire la représentation ou l'image) de la matière proposé par Aristote. Ce dernier suggère par exemple que les substances qui durcissent au froid mais qui fondent au feu sont principalement constituées d'eau alors que celles qui durcissent au feu sont principalement composées de terre. Ces quatre substances contribuent à remplir l'univers d'Aristote qui est « plein » de matière.

À partir de ce texte essaye de dessiner la matière telle que l'imaginait Aristote. Ton affiche doit expliquer le modèle d'Aristote à un visiteur ignorant tout de ce sujet

### Document 3 : **Les théories sur la continuité et la discontinuité de la matière dans la Grèce antique**

Étape 1 : Pour cette séance, les élèves sont répartis en groupes de 3 ou 4 élèves. La moitié des groupes reçoit le texte 1 décrivant le modèle de Démocrite, l'autre moitié travaille sur le texte 2, le modèle d'Aristote (Fiche élève 2, document 3)

La consigne est la même pour tous les groupes : réaliser une affiche de format A2 qui explique chacun des modèles. Cette affiche doit non seulement être représentative, mais aussi explicative. Les élèves doivent comprendre qu'elle est destinée à un « visiteur » éventuel ignorant tout du sujet.

Étape 2 : Les affiches sont exposées et un représentant de chaque groupe est invité à venir la présenter et la commenter à la classe (voir Document 4), prélude à un débat animé par l'enseignant.

#### ***Analyse du déroulement de la séance***

Majoritairement les élèves travaillant à partir du texte de Démocrite s'orientent assez rapidement vers une modélisation prenant en compte la forme de la particule comme étant l'élément significatif de la diversité de la matière ; l'éloignement des particules indiquant quant à lui l'état la matière : « Il y a des particules de formes différentes, elles sont plus proches ou plus éloignées si par exemple l'eau est de la glace ou de l'eau » (justification de Sarah).

Par contre, la majorité des élèves travaillant sur le modèle d'Aristote sont mis en difficulté pour représenter la matière et expriment la volonté de comparer leur texte à celui des autres groupes. Finalement chaque groupe travaille les deux textes et produit deux schémas.

Concernant le modèle d'Aristote, tous les schémas révèlent la compréhension d'une matière continue bien que certains dessins relèvent manifestement d'une conception seulement macroscopique (Sarah).

Majoritairement la continuité est affirmée oralement « Tout se touche, il n'y a pas de coupure » (Vincent).

Le travail de mise en commun permet également de préciser l'organisation des divers matériaux dans l'Univers. Ainsi, « Il y a de la terre et au dessus il y a l'air. Sur la terre il y a de l'eau et du feu » pour conclure « Il y a toujours quelque chose » réaffirmant ainsi la continuité de la matière.

Après une première partie dédiée à la présentation des dessins, l'enseignant engage un débat permettant une analyse comparative des deux modèles. En voici un extrait significatif.

Enseignant : « Quelles sont les différences entre les deux modèles ? »

S : « Pour Aristote, on ne voit pas bien ce qu'est la matière »

V : « Pour Démocrite ce sont des particules de formes différentes »

P : « Pour Aristote il y a de la matière partout... »

Enseignant : « Et pour Démocrite ? »

V : « C'est pareil mais il y a des particules différentes »

P : « La matière se coupe »

Enseignant : « Comment ? »

S : « En particules, par exemple l'eau... »

Enseignant : « Qu'est ce qu'il y a entre ces particules ? »

S : « ? »

P : « Rien »

Enseignant : « Qu'est ce que c'est *rien* ? »

D : « Rien, c'est quand il n'y a pas de particules »

P : « Rien, c'est le vide »

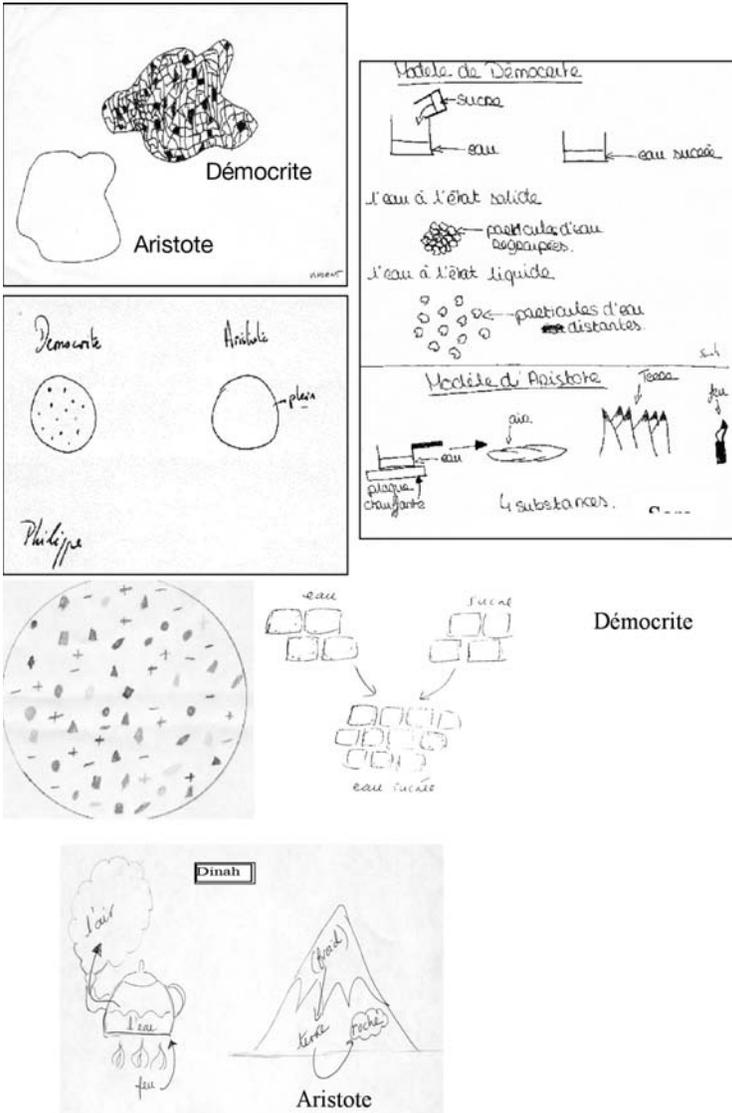
Cette deuxième étape de la séance a permis, en soulignant l'opposition des deux modèles, d'interroger la nature de matière (l'approche particulière ne va pas de soi), de discuter une première approche mettant en jeu les notions de continuité / discontinuité ainsi qu'une première étape permettant de discuter la place du vide sachant que cet aspect constitue un objectif central pour la suite de la séquence.

### **Séance 3 – Démocrite ou Aristote ?**

Objectifs de la séance :

Être capable d'interpréter un texte relatant une expérience historique

Être capable de comparer et critiquer deux modèles en repérant des indices pertinents afin d'argumenter.



Document 4 • Dessins d'élèves

**Déroulement et analyse**

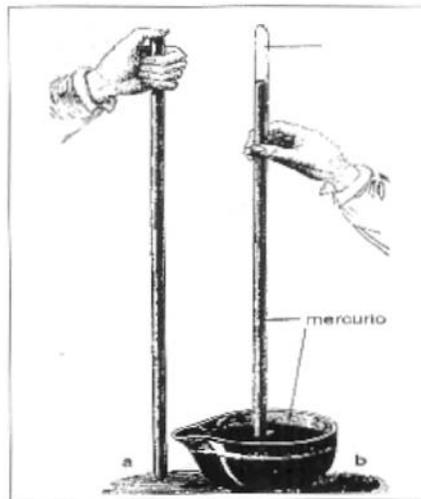
Étape préliminaire :

Il s'agit d'un travail que les élèves doivent réaliser à la maison. À partir du texte relatant l'expérience historique de Torricelli (cf. fiche élève 4,

Document 5), les élèves sont amenés à émettre une hypothèse en répondant à la question « Qu'y a-t-il dans le tube au dessus du mercure ? »

En 1643, Evangelista Torricelli (1608-1647), un élève du célèbre savant italien Galilée (1564-1642) est chargé de construire des fontaines pour le Grand Duc de Toscane et il constate l'impossibilité d'élever l'eau à plus de 10 mètres. Il émet l'hypothèse que c'est la pression atmosphérique qui équilibre la colonne d'eau. Il imagine alors de remplacer l'eau par du « vif argent » (le mercure), 14 fois plus dense que l'eau et prévoit que si son hypothèse est correcte le mercure devrait s'élever 14 fois moins que l'eau. Il remplit donc de mercure un long tube de verre qu'il renverse dans une cuve contenant également du mercure. Une partie du mercure du tube se vide dans la cuve mais une colonne d'environ 76 cm subsiste.

À ton avis, qu'y a t'il au dessus du mercure dans le tube ?



### Document 5 • Une expérience étonnante

Étape 1 :

En introduction de la séance l'enseignant procède à la confrontation des hypothèses émises par les élèves.

[Extrait]

Enseignant : « Qu'y a-t-il dans le tube au dessus du mercure ? »

S : « de l'eau ? »

Enseignant : « d'où vient cette eau ? »

S : « Elle est passée dans le mercure »

Enseignant : « Au début de l'expérience, qu'y avait-il dans la cuve ? »

S : « Du mercure »

Enseignant : « et c'est tout ? »

S : « Oui...alors, ce n'est pas de l'eau, c'est de l'air »

Plusieurs élèves acquiescent.

À ce niveau du débat, s'exprime la difficulté de penser l'absence de matière ainsi que la difficulté pour qualifier une hypothétique matière. De fait, après l'eau les élèves proposent la présence d'air dans le tube, l'aspect gazeux et incolore de ce gaz contribuant à la formulation de cette réponse.

Enseignant : « Vous dites qu'il y a de l'air au dessus du mercure, mais d'où provient cet air ? Où se situait-il au début de l'expérience ? »

Une nouvelle fois l'enseignant détaille les deux étapes de la séance à l'aide de schémas.

Enseignant : « Où y a-t-il de l'air ? »

D : « Au dessus du mercure »

S : « Dans le mercure, et c'est cet air qui se déplace jusqu'en haut du tube »

Enseignant : « Vous avez certainement déjà vu de l'air se déplacer dans de l'eau par exemple. Qu'avez-vous alors remarqué ? »

V : « Il y a des bulles, des bulles d'air »

S : « Là, il n'y a pas de bulles... donc, il n'y a pas d'air »

V : « Au dessus du mercure dans le tube, il n'y a pas de matière »

P : « Il n'y a rien, c'est le vide »

Cette étape préliminaire est importante car elle permet de débattre sur les propriétés de la matière, plus particulièrement celles attachées à l'air. Elle conduit progressivement les élèves à penser l'absence de matière. Elle constitue également un repérage historique et chronologique permettant de revoir, à la lueur d'un résultat expérimental, les modèles étudiés comparativement lors de la deuxième séance. Tel sera l'objet des dernières étapes (3 et 4) de cette séance, après un bref rappel des deux modèles étudiés (étape 2).

Étape 2 : Le groupe-classe observe les affiches de la séance précédente (séance 2 opposant le modèle de Démocrite à celui d'Aristote) et l'enseignant récapitule les résultats obtenus à l'aide de questions : « à votre avis, quelles sont les affiches qui représentent le mieux les modèles de Démocrite et d'Aristote ? »

Après discussion, les élèves éliminent les représentations qui ne font pas l'unanimité. On en retient au moins une significative de chacun des deux points de vue. Cette étape constitue un rappel permettant à chacun de se remémorer les principales différences entre les deux modèles.

Étape 3 : Question (orale) de l'enseignant : « Qu'est-ce qui divise ces deux théories ? Ont-elles cohabité ? Pendant combien de temps ? L'une d'elles a-t-elle été retenue ? »

Pour répondre à ces questions, la fiche élève 5 (Document 6) est distribuée aux élèves répartis par groupes de quatre. Après lecture, les élèves doivent répondre par écrit aux quatre questions posées à la fin du texte.

Étape 4 : Une mise en commun des écrits permet ensuite lors d'une phase orale et collective animée par l'enseignant de structurer le savoir en élaboration. Une phase d'institutionnalisation clôturera la séquence.

### Résumé de la séance précédente

Dans l'Antiquité grecque, deux théories sur la constitution de la matière se sont donc opposées : celle de Démocrite d'abord, selon laquelle la matière est discontinue, celle d'Aristote ensuite, selon laquelle la matière est, au contraire, continue.

Pourquoi ces théories s'affrontaient-elles ? Quel est leur « point d'achoppement » ?

Aristote rejette les particules de Démocrite car, dit-il, « nous ne pouvons ni les voir ni les toucher ». Il reproche également à Démocrite de multiplier les types de particules. En effet selon Démocrite il existe des particules de formes différentes ; mais combien y en a-t-il exactement ? Pour Aristote, cette incertitude est significative d'une erreur du modèle de Démocrite et il estime nécessaire d'expliquer toute la diversité du monde à partir de quelques éléments seulement. Finalement, c'est la théorie d'Aristote qui a prévalu et celle de Démocrite est restée dans l'oubli jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle.

*Coup de théâtre : le vide existe !*

De nombreux philosophes de l'Antiquité pensent qu'il est impossible de trouver du vide dans la nature parce que, disent-ils, « la nature a horreur du vide ». C'est le cas d'Aristote (384-322 avant J.-C.) pour lequel la matière remplit complètement l'espace. Aristote s'oppose en particulier à Leucippe (435 avant J.-C.) et à son disciple Démocrite (410 avant J.-C.) qui affirment qu'accepter l'existence des particules de matière nécessite d'accepter également celle du vide. L'idée d'Aristote a prévalu et la négation du vide s'est ainsi propagée au cours des siècles.

Au Moyen Âge, l'horreur supposée de la nature pour le vide est même érigée en dogme, tant et si bien que l'enseignement de l'existence du vide est interdit en 1277 par l'évêque de Paris. Ce n'est qu'au XIV<sup>e</sup> siècle que le philosophe français Jean Buridan ose affirmer que Dieu est capable de créer surnaturellement du vide.

Question 1 : En quoi les théories de Démocrite et d'Aristote sont-elles contradictoires ?

Question 2 : Que trouve-t-on entre les particules du modèle de Démocrite ? Les particules sont-elles immobiles ou peuvent-elles bouger ?

Question 3 : Explique le phénomène de vaporisation (changement d'état qui consiste à passer de l'état liquide à l'état gazeux) :

– à l'aide du modèle de Démocrite

– à l'aide du modèle d'Aristote.

Question 4 : À partir des différents textes étudiés, quel est, selon toi, le modèle le plus pertinent, c'est à dire celui qui explique le mieux la structure de la matière ?

#### Document 6 • Démocrite ou Aristote ?

[extraits]

Enseignant : « Depuis 1642, on sait avec Torricelli que le vide existe dans la nature. Comment, à votre avis, ce résultat a-t-il influencé les savants qui s'intéressaient à la constitution de la matière ? »

V : « On a vu qu'en haut du tube il y a du vide. Dans l'expérience, d'un côté il y a le vide et de l'autre la matière ; dans l'univers ça doit être pareil, d'un côté il doit y avoir du vide et ailleurs la matière. S'il y a de la matière quelque part, il n'y a pas de vide au même endroit. C'est Aristote qui a raison »

P : « Non, ce que montre Torricelli c'est que le vide existe, qu'il n'y a pas toujours de matière comme dans l'idée d'Aristote »

Enseignant : « Êtes-vous d'accord avec p. lorsqu'il affirme que le vide n'existe pas pour Aristote ? »

S : « Oui, pour lui *l'univers est plein de matière* », S. cite un extrait de l'un des textes étudiés pour conclure à propos d'Aristote : « C'est obligé, il se trompe »

Enseignant : « Pourquoi ? »

P : « Car on sait que le vide existe : s'il y a de la matière, il n'y a pas de vide »

Enseignant : « Et si c'est de l'air ? »

S : « C'est pareil, parce que l'air c'est de la matière »

Lors de cette discussion l'enseignant a conduit les élèves à invalider le modèle d'Aristote à partir du résultat expérimental obtenu par Torricelli. Il convient désormais de confronter ce résultat au modèle de Démocrite.

Enseignant : « Si le vide existe dans le modèle de Démocrite, où se trouve-t-il ? »

S : « Tout autour de la matière »

P : « Soit il y a de la matière, soit il n'y en a pas et alors c'est le vide »

Enseignant : « Comment Démocrite se représente-t-il la matière ? »

S : « Ce sont des ronds, ou des points, etc. des formes différentes »

Enseignant : « Et que trouve-t-on entre ces points ou autres formes que l'on pourrait nommer particules ? »

P : « Rien, pas de matière, c'est le vide »

Cette dernière étape nous a semblé importante avant d'engager un travail plus élaboré sur la constitution de la matière. En effet, la construction d'une approche discrète pour la matière engage à mener une réflexion sur l'absence de cette dernière et participe à aider les élèves lorsqu'ils abordent un point de vue microscopique. En particulier cette approche devrait permettre d'éviter la proposition selon laquelle entre les particules... on trouve de l'air.

En définitive, cette séquence, conformément aux instructions officielles, vise à appréhender la notion de modèle tout en inscrivant les concepts abordés dans un contexte historique. D'autre part, la controverse suscitée lors de la troisième séance permet à l'enseignant d'initier un débat « scientifique » avec la nécessité pour les élèves d'argumenter en avançant des preuves, et de confronter leurs opinions à celles de leurs pairs. Cette approche permet aux élèves de découvrir que les questions successives qui se sont posées dans l'histoire se rapprochent parfois de leurs propres interrogations. Elle permet également de discuter le statut de l'erreur en montrant que la science s'est construite grâce aux tâtonnements successifs, aux erreurs et remises en cause et permet de discuter la place de l'expérience dans la démarche.

## CONCLUSION

Comme nous l'avons mis en évidence, les différents programmes proposés depuis 1977 ne semblent pas procéder d'une logique permettant d'introduire simplement et sans ambiguïté les concepts de base de la chimie. En particulier, la confusion entre modèle particulaire et modèle moléculaire relevée dans les programmes est susceptible de constituer un obstacle à l'acquisition de ces concepts. Afin de palier cette difficulté, il nous a semblé important de démarrer l'apprentissage par l'introduction du modèle particulaire, « brique élémentaire » dont la construction de tous les autres concepts se déduit.

Le choix d'une référence historique est ici prétexte à faire naître, chez les élèves, un questionnement indispensable à la construction et à l'appropriation des concepts. Dès lors, la perspective historique sur le mode de la controverse permet d'interroger le statut de l'erreur, incite à développer des arguments pour convaincre ainsi que des éléments de preuve, et engage une contextualisation des savoirs.

Il nous semble que cette approche, « inspirée » de l'histoire des sciences ou mieux encore fondée sur cette dernière, pourrait être généralisée à d'autres concepts afin de montrer que la science est une construction en évolution permanente et pour éviter une approche trop dogmatique d'une science déshumanisée.

## BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin. 1938.
- BACH J.-F. (2003), *Rapport du Groupe de relecture des programmes du collège, pôle des sciences*.  
[http://www.ac-miens.fr/pedagogie/associations/udppc/IMG/pdf/Rapport\\_Bach.pdf](http://www.ac-miens.fr/pedagogie/associations/udppc/IMG/pdf/Rapport_Bach.pdf)
- BARLET R. (1999). L'espace épistémologique et didactique de la chimie. *L'actualité chimique*, avril 1999, p. 22-33.
- BARLET R. & PLOUIN D. (1997). La dualité microscopique-macroscopique, un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *Aster*, n° 25, p. 143-174.
- BARLET R. & PLOUIN D. (1994). L'équation bilan en chimie. Un concept intégrateur source de difficultés persistantes. *Aster*, n° 18, p. 27-55.
- BALIBAR F. & BENSUADE-VINCENT B. (1999). Atome. In D. LECOURT *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, PUF.
- BALIBAR F. (1999). Corpuscule. In D. LECOURT *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, PUF.
- CHOMAT A., LARCHER C. & MEHEUT M. (1988). Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième. *Aster*, n° 7, p. 143-184.
- DAGOGNET F. (1999). Matière. In D. LECOURT *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, PUF.
- DUMON A. & LAUGIER A. (2004). L'équation de réaction : approche historique et didactique de la modélisation de la transformation chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 866, p. 1131-1144.
- FILLON P. (1991). Histoire des sciences et réflexions épistémologiques des élèves. *Aster*, n° 12, p. 91-120.
- JANDALY J. (2003). *Textes illustrés d'histoire des sciences pour les élèves de collège, physique-chimie*. CRDP de Haute-Normandie, p. 21-28 ; 67-71 ; 84-93.
- KOUNELIS C. (1999). *Molécule*. In D. LECOURT *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, PUF.
- LAGARRIGUE (1977). Conclusions des travaux de la commission Lagarrigue déposées en mars 1976, *Livre du professeur – sciences physiques – 6<sup>e</sup> collèges*, Collection Libres Parcours, Hachette.

LAUGIER A., DUMON A., (2000), Histoire des sciences et modélisation de la transformation chimique en classe de seconde, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 826, p. 1261-1284.

MARTINAND J.-L., VIOVY R., (1979), La notion d'élément chimique en classe de 5<sup>e</sup>: difficultés, ressources et propositions, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 613, p. 878-884.

SHAPIN S. (1996). *The scientific revolution*, The University of Chicago Press. Traduction française par C. Larssonneur, *La révolution scientifique*, Flammarion, Paris, 1998.

RUBRIQUE COLLEGE « autour d'un thème ». (2000). Le modèle particulière. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 826, p. 1339-1392.

## Bulletins officiels

*BOEN* n° 11 du 24 mars 1977, Objectifs, programmes et instructions pour les classes de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>

*BOEN* n° spécial 4 bis du 11 janvier 1979, sciences physiques, programmes et instructions pour les classes de 4<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>

*BOEN* n° 44 du 12 décembre 1985 in : Programmes et instructions, 1985, coéd. CNDP et Livre de Poche.

*BOEN* n° 31 du 30 juillet 1992 physique – chimie – classes des collèges – 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> – éd. CNDP – 1994

*BOEN* n° 41 du 2 décembre 1993 in : physique – chimie – classes des collèges – 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> – éd. CNDP – 1994

*BOEN* Hors-série n° 1 du 13 février 1997, Programmes du cycle central 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup>, 1997, livret 1, CNDP.

*BOEN* Hors série n° 10 du 15 octobre 1998 in : *Programmes de 3<sup>e</sup>, 1999, physique chimie*, collection collège, CNDP.

*BOEN* Hors-série n° 5 du 25 août 2005, Programmes des enseignements de mathématiques, de sciences de la vie et de la Terre, de physique-chimie pour les classes du cycle central du collège (classes de cinquième et de quatrième).

## Documents d'accompagnement des programmes

Document d'accompagnement du programme de chimie de la classe de quatrième (GTD mai 1993)

Document d'accompagnement du programme de chimie de la classe de 3<sup>e</sup> (GTD mars 1994)

Accompagnement des programmes de 5<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup>, 1997, livret 3, collection collège, CNDP

Accompagnement des programmes de 3<sup>e</sup>, 1999, livret 3, collection collège, CNDP.