

## Modèles moléculaires et nouveaux programmes au lycée

par Jean-Marie BOILEVIN

Lycée Pilote Innovant - 86130 Jaunay Clan

Dominique DAVOUS et Janine THIBAUT

GREDIC - Bâtiment 72 - B.P. 67 - Université Pierre et Marie Curie  
75252 Paris Cedex 05

---

### REMARQUE PRÉLIMINAIRE

*Cet article a été écrit avant la parution des nouveaux manuels de première S ainsi que des nouveaux programmes de terminale S au Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. Nous pensons néanmoins que les éléments apportés peuvent enrichir la réflexion des enseignants de lycée sur leur pratique.*

### 1. INTRODUCTION

L'équipe du GREDIC (Groupe de Recherche en Didactique de la Chimie), en particulier M.-A. Besson et D. Davous (1989-1991), a mené une recherche à propos de l'utilisation des modèles moléculaires par les élèves de l'enseignement secondaire. A cet effet, une enquête a été réalisée auprès d'élèves de terminale d'enseignement général (scientifique ou non) et technique de lycées français. A notre connaissance, il n'existe pas d'autres enquêtes sur le même sujet à l'exclusion de celle de A.-M. Ingham et J.-K. Gilbert (1991) menée en Grande-Bretagne, mais elle concerne des étudiants en chimie à l'université.

La lecture des nouveaux programmes de sciences physiques en vigueur depuis la rentrée scolaire 1993-1994 et des textes d'accompagnement proposés par le Groupe Technique Disciplinaire (GTD) de Chimie, en fonction à cette date, continue de préconiser l'utilisation des modèles moléculaires. Cette question étant toujours d'actualité, il nous a semblé opportun de mener cette fois-ci l'étude auprès des enseignants du second degré afin de préciser comment ils utilisent les modèles moléculaires et ouvrir ainsi quelques pistes de réflexion.

Pour A. Dumas-Carré et A. Weil-Barais (1994), «dans le domaine de l'enseignement, l'important, semble-t-il, est que les enseignants puissent contrôler et réguler eux-mêmes leurs pratiques. L'efficacité de celles-ci tient à la cohérence des démarches qu'ils empruntent ainsi qu'à leur capacité à pouvoir les argumenter et les modifier en fonction de l'évolution des processus dont ils ont la responsabilité». Notre étude se situe dans cette approche des pratiques enseignantes. Nous espérons qu'elle aidera les enseignants à prendre conscience des stratégies qu'ils utilisent et à envisager éventuellement d'en construire d'autres.

## Rappels sur la recherche GREDIC (1989-1991)

### 1 - LES «ANCIENS PROGRAMMES» DE CHIMIE

#### *Les instructions officielles et leurs commentaires*

*Il s'agit des programmes dont les instructions officielles ont été publiées au Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale (spécial n° 3, 1987 et supplément n° 21, 1988).*

*L'étude des commentaires des programmes de seconde, première S, E, terminale C, E et terminale D a été entreprise par Marie-Anne Besson dans son mémoire de tutorat (1989). Elle y indique que l'aspect «jeu de construction» des modèles moléculaires sort renforcé de la lecture des commentaires officiels, sauf dans les programmes de terminale D où un aspect opératoire apparaît («savoir représenter et nommer une molécule définie par un modèle moléculaire»). Elle insiste sur l'aspect illustration des modèles et le **peu d'attitude critique** à leur égard.*

#### *Les manuels scolaires*

*Les manuels scolaires jouent souvent le rôle d'instructions officielles bis pour bon nombre d'enseignants et il est intéressant de savoir ce que disent les manuels du second degré sur les modèles moléculaires.*

*M.-A. Besson (1989) s'est livrée à une étude détaillée des représentations des modèles moléculaires pour les auteurs des manuels, leur intérêt et les conventions utilisées.*

*Elle en retire que la présentation faite des modèles est assez cohérente d'un manuel à l'autre mais que celle-ci semble aller de soi.*

*De ce fait, cette dernière est peu explicite et peu reprise au-delà de la classe de seconde.*

*Les conventions, quant à elles, ne sont pas toujours précisées et surtout, aucun manuel ne signale les limites de ces outils pédagogiques.*

*Pour les auteurs des manuels, il s'agit bien, comme dans les commentaires des programmes, d'une illustration de la structure des molécules.*

## **2 - ENQUÊTE**

*Nous présentons ci-après les principaux résultats de l'enquête déjà citée, réalisée auprès d'élèves de terminale pour évaluer l'impact des modèles moléculaires dans l'enseignement :*

- les modèles moléculaires sont reconnus comme des objets rencontrés en classe par presque tous les élèves. Ils ont souvent été construits en classe par les élèves eux-mêmes,*
- les modèles moléculaires sont identifiés à 82 % comme des représentations de molécules. Chaque partie du modèle est identifiée correctement par 90 % des élèves de classes scientifiques mais par seulement 27 % des élèves de terminale B,*
- les liaisons, quant à elles, sont bien identifiées (à 89 %),*
- à propos des conventions utilisées dans les modèles moléculaires, l'enquête révèle que la taille des «boules» est liée à la taille des atomes, mais aussi parfois à la masse. L'explication selon laquelle les sphères sont tronquées semble tenir à des raisons pratiques (assemblages) ; mais il arrive que la cause donnée soit l'interpénétration des atomes ou une meilleure adéquation à la réalité. Les liaisons simples et doubles apparaissent bien sur les modèles éclatés,*
- il semble que même lorsque les conventions nécessaires sont connues, elles n'ont pas toujours un caractère opératoire. Est-ce à mettre en relation avec le rôle d'illustration souvent laissé aux modèles moléculaires dans les manuels de seconde ?*
- en ce qui concerne l'intérêt et l'adéquation de chaque type de modèle moléculaire, il apparaît que le modèle compact représente la forme de la molécule tandis que le modèle éclaté met en évidence l'existence des liaisons. La «tige-liaison» a un caractère très prégnant et semble avoir, dans certains cas, une existence indépendante des atomes. De plus, il n'y a pratiquement pas de réflexion ou de prise de position critique par rapport aux modèles moléculaires et pas de vision de leurs limites.*

## 2. NOUVEAUX PROGRAMMES ET MODÈLES MOLÉCULAIRES

### 2.1. Les instructions officielles et leurs commentaires

*En classe de seconde* (Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, Hors série, 1992), dans les *commentaires du programme* correspondant à la partie «Les éléments du globe et de l'univers», on peut lire :

«En ce qui concerne l'étude de la molécule et de la liaison covalente, on restera à un niveau très élémentaire. (...) Tous ces exemples seront **illustrés par la présentation de modèles moléculaires compacts et éclatés**».

Enfin, concernant la troisième partie «Pétroles et gaz naturels : les brûler ou les transformer ?», le Groupe Technique Disciplinaire (GTD) de Chimie propose comme expériences de cours ou de travaux pratiques «la représentation des modèles éclatés du diamant et du graphite» et la **«manipulation de modèles moléculaires»** à propos des hydrocarbures.

*En classe de première* (Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, Hors série, 1992), la **«présentation des modèles moléculaires»** à propos de «la dissolution des composés moléculaires dans l'eau» est proposée comme expérience de cours dans les *commentaires du programme* correspondant à la partie «Réactions chimiques et énergie thermique».

Enfin, **«la construction de modèles moléculaires»** est préconisée dans les expériences de cours et les travaux pratiques pour le thème «oxydation des composés organiques».

Une première lecture de ces nouveaux programmes suggère que les modèles moléculaires gardent un rôle d'illustration du cours à propos des molécules rencontrées, comme dans les programmes en vigueur.

### 2.2. Les modèles moléculaires dans les nouveaux manuels scolaires

Seulement quatre éditeurs proposent un manuel pour la classe de seconde, manuel commun à la physique et à la chimie pour Bordas, Hachette et Hatier, manuels séparés pour Nathan. Nous avons donc recherché comment étaient présentés les modèles moléculaires par les auteurs des manuels, l'intérêt d'utilisation, les conventions utilisées ainsi que la présence éventuelle d'images infographiques.

Tous les manuels présentent les modèles moléculaires ; deux (Bordas et Hatier) en font une présentation très succincte et deux (Hachette et Nathan) présentent plus longuement les deux types de modèles.

Les auteurs du manuel Hatier semblent considérer que le modèle moléculaire est connu et qu'il ne nécessite pas de rappel particulier. Des photographies de modèles compacts et éclatés des molécules rencontrées dans le programme sont donc proposées sans que les conventions, ni l'intérêt d'utilisation soient évoqués.

Les auteurs du manuel Bordas, quant à eux, précisent que les représentations de Lewis «ne peuvent pas prédire la géométrie des molécules qui est une donnée expérimentale». Ils présentent alors les deux sortes de modèles moléculaires illustrés de photos : les modèles moléculaires éclatés qui «permettent de visualiser longueurs et angles de liaison» et les modèles compacts qui «représentent la molécule grossie des dizaines de millions de fois et donnent une idée de son encombrement». Mais aucune convention de représentation n'est donnée.

Dans le manuel Hachette, les auteurs montrent, à partir de considérations théoriques sur la liaison covalente, que «la représentation de la molécule par un schéma devient plus délicate» lorsque les atomes sont disposés dans l'espace à trois dimensions. Ils indiquent que «les chimistes ont pris l'habitude d'utiliser des modèles moléculaires ou des représentations graphiques en trois dimensions (Conception Assistée par Ordinateur : C.A.O.)». Une fiche technique en fin de chapitre détaille ce que représente chaque type de modèle moléculaire («disposition des noyaux des atomes dans la molécule à une échelle connue» pour les modèles éclatés et «évaluer le volume» de la molécule pour les modèles compacts) et donnent les conventions d'utilisation avec des photos à l'appui.

Pour les auteurs du manuel Nathan, les molécules sont représentées «en utilisant des modèles moléculaires qui permettent de se rendre compte de la forme et du volume relatif des molécules». Les auteurs présentent les deux types de modèles utilisés et précisent quelques conventions (couleur notamment). En fin de chapitre une fiche T.P. sur les modèles moléculaires est proposée ainsi qu'un document sur les travaux de J.-M. Lehn avec des dessins de modèles moléculaires.

En ce qui concerne le recours à l'infographie, tous les manuels proposent des photos de modèles obtenus par C.A.O., mais seul le manuel Hatier insiste sur cette technique de représentation en présentant un document à exploiter, en fin de chapitre («les sculpteurs de molécules»).

### 2.3. **Rappels concernant la description des modèles moléculaires en usage au lycée**

On rencontre principalement deux types de modèles moléculaires, les modèles compacts et les modèles éclatés. Dans les deux cas, les «boules» utilisées sont de couleur différente pour chaque élément rencontré (les atomes de carbone en noir ; les atomes d'hydrogène en blanc ; les atomes d'oxygène en rouge...).

#### ***Les modèles compacts***

Ils correspondent au modèle d'une molécule constituée d'atomes distincts, assimilés à des sphères dures dont le rayon est le rayon de Van der Waals. Les atomes s'interpénètrent alors pour former des liaisons covalentes ; dans la direction d'une liaison, la sphère est donc tronquée par un plan dont la distance au centre de la sphère est le rayon covalent de l'atome. La distance entre les centres des deux sphères représente alors, à une échelle connue (échelle, selon les séries, de 1 à 2 cm par Angström), la longueur de la liaison covalente.

Les «**modèles compacts**» nous permettent donc d'évaluer le volume de la molécule.

#### ***Les modèles éclatés***

Dans ces modèles, la «boule» représente le noyau de l'atome. Ces «boules» sont reliées les unes aux autres par des tiges dont la longueur est proportionnelle à la longueur des liaisons (échelle, selon les séries, de 5 à 10 cm par Angström). Les angles que forment les tiges entre elles correspondent aux angles des liaisons représentées. Le nombre de tiges reliant deux «boules» correspond au nombre de doublets d'électrons qui assure la liaison entre ces deux noyaux.

Les «**modèles éclatés**» représentent donc les liaisons covalentes. Ils permettent de visualiser, à une échelle connue, la disposition des noyaux des atomes dans la molécule ainsi que les directions des liaisons dans l'espace, voire leur multiplicité.

Il est à noter que quel que soit le type de modèle moléculaire utilisé, aucun ne met en évidence le vide intra-atomique, et la molécule construite est statique.

Quoi qu'il en soit, la représentation conceptuelle sous-jacente aux modèles moléculaires repose sur la décomposition d'une molécule en atomes. Ce paradigme discuté en particulier par L. Paolini (1985) est à la base de l'enseignement de la chimie dans l'enseignement secondaire français même si certains prônent une approche quantique de la liaison chimique (A. Ducasse, J.-R. Lalanne, P. Lalanne et J.-C. Ravez, 1985), approche mise en cause en particulier par M. Bernard (1987).

La représentation la plus usuelle d'une molécule est l'écriture de sa formule développée ou semi-développée plane. L'étude menée dans notre recherche s'intéresse à la représentation des molécules en trois dimensions, à partir de «modèles moléculaires». Le terme de «moléculaire» est d'ailleurs restrictif car ces «modèles» peuvent servir à représenter tous les édifices covalents, y compris les ions poly-atomiques.

### 3. ENQUÊTE

#### 3.1. Méthodologie : le questionnaire et son élaboration

L'objectif général de l'enquête est de déterminer le statut du modèle moléculaire pour les professeurs. S'agit-il uniquement d'une maquette servant d'illustration ou bien les enseignants abordent-ils le concept de modèle en précisant en particulier les limites de validité ?

Nous nous proposons pour cela de découvrir si les professeurs de lycée font manipuler les modèles moléculaires par leurs élèves, dans quel but, et dans quelle mesure ils insistent sur le caractère conventionnel d'un modèle moléculaire et les limites de sa représentation.

Dans l'enquête précédente (M.-A. Besson, 1989 ; M.-A. Besson et D. Davous, 1991), le public choisi est exclusivement constitué d'élèves de lycées ; nous avons soumis notre questionnaire à des professeurs enseignant en lycée.

Les objectifs de l'enquête étant centrés sur les pratiques des enseignants, le choix s'est porté d'une part vers des enseignants «chevronnés» et exerçant depuis de nombreuses années, et d'autre part vers des professeurs stagiaires d'IUFM débutant dans le métier.

Un questionnaire a donc été élaboré et proposé au cours du premier semestre 1993 à cent quinze professeurs se répartissant comme suit :

- quarante-cinq enseignants de lycées de l'académie de Poitiers et trente-six enseignants d'autres académies (Besançon, Marseille et région parisienne),
- dix-sept professeurs stagiaires de l'IUFM (IUFM deuxième année) de Poitiers et dix-sept d'autres académies (Marseille et région parisienne).

Afin d'alléger la présentation, le questionnaire n'est pas donné dans son intégralité, seul un libellé court de chaque question est précisé, au fil des résultats.

L'exploitation statistique de l'échantillon obtenu donne une indication des grandes tendances des pratiques pédagogiques des enseignants.

Nous avons complété cette enquête écrite par des entretiens individuels auprès d'autres professeurs. Aucune information complémentaire ni contradictoire ne s'est dégagée de l'analyse de ces entretiens. Nous ne présenterons donc que les résultats de l'enquête.

### 3.2. Résultats et discussion

Les principaux résultats de l'enquête sont présentés ci-après.

#### **1 - Les modèles moléculaires sont-ils utilisés ?**

- *Utilisez-vous des modèles moléculaires dans votre enseignement ? (en cours, en T.P., autre).*
- *Quel(s) type(s) de modèle moléculaire utilisez-vous ?*

Tous les enseignants utilisent les modèles moléculaires. Toutefois, quelques-uns les utilisent uniquement en cours ou uniquement en T.P. Il n'y a pas de grande différence entre les professeurs stagiaires deuxième année (**IUFM**) et les professeurs de Lycée et de Collège (**PLC**).

Ces résultats sont en accord avec l'enquête faite auprès des élèves de terminale qui affirment tous avoir vu des modèles moléculaires en classe.

En ce qui concerne le type de modèle utilisé, le modèle éclaté est utilisé par tous les enseignants alors que seulement 75 % d'entre-eux déclarent utiliser des modèles compacts. Un seul PLC indique qu'il a recours à un logiciel mais ne précise pas lequel.



## 2 - Les élèves manipulent-ils les modèles moléculaires ?

- Faites-vous manipuler les modèles éclatés par les élèves ?
- Même question pour les modèles compacts.

Pratiquement tous les enseignants font manipuler leurs élèves avec des modèles éclatés (96 % des PLC, 88 % des IUFM). Pour les modèles compacts, peu utilisés, remarquons que la tendance s'inverse (14 % des PLC contre 21 % des IUFM).

Lorsque les enseignants ne font pas manipuler les **modèles éclatés** par les élèves, c'est essentiellement pour un gain de temps (cinq réponses sur sept «non»).

En ce qui concerne la non-utilisation des **modèles compacts**, le **tableau 1** présente les justifications rencontrées. C'est le manque de matériel qui est le plus souvent évoqué (bien souvent, le lycée ne possède qu'une seule boîte de compacts, à l'usage exclusif des enseignants).

| Justification          | IUFM | PLC | Total |
|------------------------|------|-----|-------|
| Non justifié           | 4    | 9   | 13    |
| Nombre insuffisant     | 15   | 40  | 55    |
| Matériel peu pratique  | 3    | 13  | 16    |
| Matériel peu pertinent | 5    | 19  | 24    |
| Pas le temps           | 3    | 1   | 4     |
| <b>Total</b>           | 30   | 82  | 112   |

**Tableau 1 :** Chaque modalité de réponse n'est pas exclusive. Les nombres sont des valeurs absolues.

Mais certains enseignants signalent qu'ils ne voient pas l'intérêt de les utiliser par rapport à leurs objectifs pédagogiques (mettre en évidence les liaisons au sein de la molécule).

**Exemples :** «*Le modèle ne permet pas de visualiser les liaisons*» ; «*moins représentatif de la géométrie*» ; «*les modèles compacts ne mettent pas en évidence la nature des liaisons*».

D'après l'enquête de M.-A. Besson (1989), les élèves déclarent avoir manipulé aussi bien des modèles compacts que des modèles éclatés. Il semblerait donc que les élèves ne perçoivent pas la différence entre un modèle compact et un modèle éclaté.

Certains professeurs signalent la piètre qualité du matériel («*matériel inadapté*») : assemblage difficile à faire mais démontage encore plus difficile (donc perte de temps). L'argument «*pas le temps*» est avancé principalement par des stagiaires IUFM. Ils effectuent leur première année d'enseignement et sont souvent conduits à faire des choix, en particulier écarter le modèle moléculaire qu'ils jugent de l'ordre du détail dans le programme.

**En conclusion**, les professeurs font très souvent construire les modèles éclatés par les élèves mais plus rarement les modèles compacts. L'argument le plus souvent rencontré pour cette non-utilisation est le manque de matériel. Se pose alors la question de savoir pourquoi il n'y a pas de modèles compacts pour les élèves.

Ce matériel est-il peu pratique, peu pertinent (ce type de modèle n'apporte rien de plus à l'enseignement), onéreux (ou toute autre raison non évoquée dans l'enquête) ?

### **3 - Les professeurs manipulateurs**

– *Si c'est vous qui manipulez, le modèle est-il construit devant les élèves ou bien présenté tout monté ?*

Les résultats de cette question ont été écartés puisque la plupart des élèves manipulent eux-mêmes les modèles moléculaires.

– *Pouvez-vous préciser la marque ou le type de matériel utilisé dans votre établissement ?*

Les résultats de cette question montrent que près des deux tiers des enseignants (79 % des IUFM et 53 % des PLC) ne connaissent pas la marque du matériel qu'ils utilisent.

### **4 - Les modes de présentation et les conventions sont-ils précisés aux élèves**

– *Si vous utilisez des modèles éclatés, précisez-vous les conventions de construction de ces modèles ? Si oui, précisez lesquelles et le mode de présentation (oral, tableau, documents écrits, ...).*

– *Même question pour les modèles compacts.*

Le système de symbolisation utilisé pour les modèles moléculaires en usage au lycée a été rappelé au paragraphe 2.3.

En ce qui concerne les **modèles éclatés**, un très grand nombre de professeurs affirment donner les conventions (85 % des PLC et 68 % des IUFM). Parmi les quatre-vingt-douze qui déclarent expliciter les conventions, soixante-et-un les précisent :

- *couleur* : la convention des couleurs est donnée aux élèves,
- *longueur* : la proportionnalité de la longueur des tiges à la longueur des liaisons covalentes est citée,
- *angles* : les tiges et les boules respectent les angles que les liaisons forment entre elles,
- *type de liaison* : sont regroupées dans cette modalité, les réponses précisant qu'il y a libre rotation uniquement dans le cas de liaison simple et les réponses précisant qu'il existe des tiges différentes pour représenter les liaisons multiples,
- *boule = noyau* : certaines réponses précisent que les boules représentent le centre de l'atome ou bien son noyau.

En ce qui concerne les **modèles compacts**, le pourcentage de réponses positives chute sensiblement. Soixante-et-onze professeurs sur quatre-vingt-six utilisent les modèles compacts sans donner les conventions. Quinze fournissent des précisions quant aux couleurs des boules. Toutes les autres informations données par les enquêtés ne concernent pas les conventions.

Pour la partie «mode de présentation», tant pour le modèle éclaté que pour le modèle compact, le plus cité est le «mode oral», le «mode écrit» n'étant pratiquement pas utilisé dans le cas du modèle compact.

**En conclusion**, on a pu remarquer dans l'enquête M.-A. Besson (1989) une grande confusion ou même des erreurs dans les connaissances des élèves à propos des conventions utilisées dans les modèles moléculaires. L'enquête professeurs révèle qu'il faut aussi prendre en compte le rôle joué par la présentation la plus souvent orale des modèles moléculaires aux élèves. Cette présentation par les professeurs est nécessairement rapide, difficile à mémoriser. Ajoutons que nous n'avons pas les éléments pour traiter du rôle des représentations initiales des élèves lorsqu'ils abordent les modèles moléculaires.

## 5 - Quelles caractéristiques sont visualisées par les modèles moléculaires ?

– Parmi les caractéristiques suivantes<sup>1</sup> de la molécule, quelles sont celles, qui à votre avis, apparaissent le mieux sur le modèle compact et(ou) le modèle éclaté ?

Le système de symbolisation utilisé pour les modèles moléculaires en usage au lycée a été rappelé au paragraphe 2.3.

Le **tableau 2** regroupe l'ensemble des résultats.

|                                                                                                                                                                                                                                         | Éclaté |     | Compact |     | JNPC* |     | Aucune case** |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|---------|-----|-------|-----|---------------|-----|
|                                                                                                                                                                                                                                         | IUFM   | PLC | IUFM    | PLC | IUFM  | PLC | IUFM          | PLC |
| Dimension                                                                                                                                                                                                                               | 10     | 11  | 22      | 39  | 1     | 1   | 5             | 34  |
| Forme                                                                                                                                                                                                                                   | 17     | 44  | 23      | 62  | 0     | 0   | 3             | 0   |
| Encombrement                                                                                                                                                                                                                            | 5      | 13  | 28      | 66  | 0     | 1   | 4             | 6   |
| Direction                                                                                                                                                                                                                               | 33     | 81  | 3       | 2   | 0     | 0   | 1             | 0   |
| Longueur                                                                                                                                                                                                                                | 27     | 63  | 0       | 3   | 0     | 1   | 7             | 5   |
| Nombre                                                                                                                                                                                                                                  | 29     | 76  | 12      | 37  | 0     | 0   | 4             | 2   |
| Nature                                                                                                                                                                                                                                  | 22     | 71  | 13      | 44  | 0     | 1   | 11            | 4   |
| Nuage                                                                                                                                                                                                                                   | 4      | 1   | 19      | 48  | 1     | 4   | 10            | 28  |
| Covalent                                                                                                                                                                                                                                | 7      | 13  | 17      | 29  | 1     | 9   | 11            | 30  |
| Van der Waals                                                                                                                                                                                                                           | 2      | 2   | 7       | 13  | 5     | 24  | 20            | 43  |
| * <b>JNPC</b> : Je ne connais pas la signification de cette caractéristique.<br>** D'après les consignes données dans le questionnaire, si la caractéristique proposée n'est pas mise en évidence, aucune case ne doit pas être cochée. |        |     |         |     |       |     |               |     |

**Tableau 2** : Les nombres sont des valeurs absolues. Chaque modalité de réponse n'est pas exclusive. Il existe un cas de non réponse.

Quelques remarques s'imposent sur les réponses proposées par les professeurs stagiaires ou les professeurs de lycées ou collèges :

– *dimension* : on pouvait s'attendre à un nombre important de cases non cochées puisque la dimension réelle de la molécule ne peut apparaître. Or, la grande majorité des IUFM et dans une moindre mesure les PLC pensent que cette caractéristique apparaît sur les modèles

1. Caractéristiques, sous forme de tableau : dimension, forme, encombrement, direction des liaisons, longueur des liaisons, nombre d'atomes, nature des atomes, volume du nuage électronique, rayon covalent, rayon de Van der Waals.

moléculaires. Il est probable qu'ils répondent en fait en terme de «dimension relative». Cette possibilité d'interprétation est corroborée par le grand nombre de réponses positives concernant «l'encombrement de la molécule» (encombrement relatif lui aussi),

- *direction des liaisons* : pratiquement 100 % de réponses positives pour les PLC et les IUFM. Les modèles éclatés mettent bien en évidence la direction des liaisons,

- *longueur de liaison* : pour la plupart des enseignants, le modèle éclaté met bien en évidence la longueur de la liaison. Toutefois, quinze PLC et sept IUFM ne cochent aucune case. Ce sont peut-être des enseignants utilisant des modèles moléculaires dont les échelles de représentation ne sont pas toujours précisées dans les documents d'accompagnement du constructeur,

- *nombre d'atomes* : six enseignants ne cochent aucune case. Sans autre élément disponible, il n'est pas possible d'interpréter cette réponse,

- *nature des atomes* : on attendait que les professeurs précisent si les modèles moléculaires permettent de distinguer les atomes entrant dans la composition d'une molécule. Les quinze réponses négatives (aucune case cochée) laissent supposer qu'il y a eu difficulté d'interprétation de la signification du mot «nature»,

- *volume du nuage électronique, rayon covalent, rayon de Van der Waals* : il semblerait que les enseignants n'évaluent pas l'importance du sujet au vu des non réponses (aucune case cochée) ou du grand nombre de JNCP (je ne connais pas...). Ceci est particulièrement vrai dans le cas du rayon de Van Der Waals. Il est à noter que dans les conventions citées, un seul enseignant a précisé qu'il donnait aux élèves la définition du «rayon covalent».

**En conclusion**, les réponses fournies aussi bien par les professeurs «chevronnés» que par les professeurs stagiaires manquent de précision quant aux caractéristiques de la molécule mises en évidence sur les modèles moléculaires. Il faut incriminer la formulation de la question : les enseignants ont peut-être interprété cette question en terme de notions pertinentes pour les élèves alors que nous recherchions leurs avis personnels.

## **6 - Opinions des enseignants sur les représentations de leurs élèves**

Il nous semblait intéressant de savoir si les professeurs ont conscience des confusions de leurs élèves lors de l'utilisation des modèles moléculaires.

– *Selon vous, l'utilisation de sphères de couleur dans la construction des modèles moléculaires induit-elle, auprès des élèves, l'idée que les atomes sont colorés dans la réalité ?*

Les deux tiers environ des enseignants (62 % des IUFM et 68 % des PLC) pensent qu'il n'y a pas de problème de confusion entre les couleurs conventionnelles et la possibilité de coloration réelle des atomes. Cela semble cohérent au vu des résultats de l'enquête auprès des élèves (M.-A. Besson, 1989). Les 17 % (24 % des IUFM et 14 % des PLC) de «sans opinion» ne s'étaient peut-être pas posé la question ou n'avaient peut-être pas vu la difficulté avant de lire le questionnaire. Les réponses «oui» sont rarement justifiées.

– *Selon vous, l'utilisation par les élèves des modèles moléculaires éclatés induit-elle l'idée d'une liaison covalente comme un lien mécanique entre atomes ?*

38 % des professeurs pensent que les élèves assimilent la liaison covalente à un lien mécanique entre atomes (tige rigide souvent citée). Parmi eux, 50 % ne donnent pas de justification à cette réponse positive ; 28 % sont «sans opinion». L'enquête élèves avait déjà mis en évidence cette assimilation de la liaison chimique à une liaison mécanique, certains élèves pensant même qu'une molécule est constituée d'atomes et de liaisons. Les professeurs ne sont peut-être pas assez sensibilisés au danger que représente cette assimilation.

– *Selon vous, les élèves ont-ils conscience du vide intra-atomique en manipulant des modèles moléculaires ?*

La quasi totalité des professeurs (90 %) pensent que les élèves n'ont pas conscience en manipulant les modèles moléculaires du vide intra-atomique.

– *Selon vous, les élèves ont-ils une bonne notion de la taille réelle des molécules en regardant des modèles moléculaires ?*

D'après 89 % des professeurs, les élèves n'ont pas conscience de la taille réelle des atomes.

**En conclusion,** les enseignants sont convaincus de la non perception par les élèves du vide intra-atomique et de la dimension réelle des molécules. En conséquence, nous ne saurions trop recommander aux professeurs d'insister sur ces notions au moment où ils donnent les conventions d'utilisation.

## 7 - *Modèle moléculaire : maquette ou modèle ?*

- *Pensez-vous que les modèles moléculaires constituent principalement une aide à la représentation des molécules dans l'espace ?*
- *Pensez-vous que les modèles moléculaires puissent avoir un autre rôle ?*

Pratiquement tous les enseignants sont d'accord pour dire que les modèles moléculaires sont principalement une aide à la représentation des molécules dans l'espace. Mais à partir de la question 15, les opinions diffèrent entre les IUFM et les PLC : 41 % des IUFM n'attribuent pas d'autre rôle au modèle moléculaire que celui de la représentation des molécules dans l'espace ; 43 % des PLC en envisagent d'autres. Dans les deux cas, le nombre de sans opinion est important et comparable (38 % des IUFM et 32 % des PLC).

Les autres rôles envisagés pour les modèles moléculaires sont :

- *équation-bilan et mécanismes réactionnels* : certains enseignants utilisent les modèles moléculaires pour distinguer les réactifs et les produits et mettre en évidence la conservation des éléments, voire même illustrer les mécanismes réactionnels,
- *taille relative* : en cohérence avec les réponses à la question 9 certains enseignants utilisent les modèles moléculaires pour comparer les molécules entre elles,
- *libre rotation* : le modèle moléculaire sert à mettre en évidence la possibilité de libre rotation dans les liaisons covalentes simples,
- *autres* : le modèle moléculaire peut servir à mettre en évidence les carbones asymétriques, les isomères ou la structure des composés cristallins.

**En conclusion** : il semble souvent que cet outil soit perçu comme une maquette.

## 4. CONCLUSION

Les résultats de l'enquête «enseignants» sont, dans l'ensemble, en cohérence avec ceux de la précédente enquête «élèves».

Il apparaît clairement dans l'enquête «enseignants» que :

- les professeurs utilisent les modèles moléculaires et font très souvent construire les modèles éclatés par les élèves mais pratiquement jamais les modèles compacts. Quand les modèles moléculaires ne sont pas ou

très peu utilisés, c'est essentiellement par manque de temps ; c'est plus souvent le cas pour les professeurs stagiaires (IUFM) que pour les professeurs chevronnés (PLC). C'est la différence la plus notable dans les réponses à l'enquête entre ces deux catégories,

– les enseignants, le plus souvent, n'énoncent pas avec suffisamment de précision les conventions d'utilisation des modèles moléculaires, ni l'échelle à laquelle ils travaillent. Ils les utilisent comme une illustration de la structure des molécules dans l'espace et ne font pas explicitement mention du vide intra-atomique que d'ailleurs le modèle moléculaire ne «montre» pas. Les professeurs font souvent jouer à ces modèles un rôle de maquette représentant la réalité.

Nous sommes pourtant persuadés que la façon d'utiliser les modèles moléculaires correspond à une démarche de modélisation et non à l'usage d'une maquette.

Le groupe technique disciplinaire (GTD) de chimie dans ses commentaires d'accompagnement des instructions officielles concernant les programmes en vigueur et au cours d'entretiens que certains de ses membres nous ont accordés recommande d'ailleurs de les utiliser pour entraîner les élèves à la démarche de modélisation.

Nous sommes conscients des difficultés que peuvent rencontrer certains collègues puisqu'ils n'ont pas reçu de formation dans ce domaine.

Néanmoins, pour étayer le fait que le modèle moléculaire permet la démarche de modélisation, et qu'il possède bien un statut de modèle, nous livrons quelques réflexions de spécialistes.

F. Halbwachs (1974) et A.-M. Drouin (1988) sont conscients du risque très général d'assimiler un modèle à la réalité. Néanmoins, A.-M. Drouin caractérise le modèle comme «un objet concret qui se substitue à une réalité trop complexe ou inaccessible». De plus, il possède un caractère opératoire et il a fonction de représentation conceptuelle et nécessite une symbolisation. Pour J.-L. Martinand (1991), «le modèle constitue une aide à la représentation, c'est-à-dire à la construction, à l'appropriation d'une représentation nouvelle, à l'élaboration des systèmes de symbolisation nécessaires à la représentation». Cette fonction de représentation sous-entend un caractère évolutif par rapport au degré d'avancement de la science et à l'état des connaissances des élèves. Dans la présentation d'un rapport de recherche, il indique : «on pourrait s'attendre à voir accorder un rôle majeur



aux démarches de modélisation dans les activités scientifiques du collège, et surtout du lycée... Ce qui domine dans les exercices et les manuels, c'est l'imposition d'un point de vue, du mode de description, d'une interprétation. Les modèles sont là mais comme des vérités indiscutables ; ce qui disparaît, c'est le caractère hypothétique des constructions élaborées pour prédire ou expliquer...

Les précautions d'usage sont encore pires ; elles érodent la confiance dans les énoncés, sans marquer vraiment les limites, liées à leurs modalités de production».

A noter que la modélisation est un thème d'étude récent dans le secteur des recherches sur les apprentissages en sciences physiques. Il a été initialement abordé par différentes équipes de recherche rattachées au LIREST (Université Paris VII) qui se sont interrogées sur la valeur formatrice de l'enseignement actuel. Il a donné lieu à un bilan présenté par A. Weil-Barais (1993).

B. Castagna écrivait il y a plus de vingt ans (1971) : «Utilisé avec discernement, le modèle est un auxiliaire efficace dans l'enseignement et un stimulant indispensable. Mais il faut pourtant constater qu'au niveau de la formation des enseignants de sciences physiques, il est regrettable que l'utilisation critique du modèle ne soit pas l'objet d'une approche systématique». Cette analyse est toujours d'actualité.

## REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements à tous les collègues qui ont bien voulu répondre à l'enquête écrite, à ceux qui nous ont accordé un entretien et particulièrement à Monique GOFFARD et Jean-Michel LEFOUR, membre du GTD de Chimie qui a proposé les programmes actuellement en vigueur dans les collèges et les lycées.

## BIBLIOGRAPHIE

- M. BERNARD : «*Utilisation pédagogique des concepts modernes sur la liaison*», Bulletin de l'Union des Physiciens, 1987, 694, 641-644.
- M.-A. BESSON : «*Modèle moléculaire ou maquette de molécule*», Mémoire du tutorat, Paris, GREDIC, Université Pierre et Marie Curie, 1989.
- M.-A. BESSON et D. DAVOUS : «*Modèle moléculaire ou maquette de molécule ?*», Bulletin de l'Union des Physiciens, 1991, 736, 1107-1126.

- B. CASTAGNA : «*Les modèles moléculaires et cristallins*», auxiliaires indispensables à l'enseignement de la chimie moderne, Unichimie. 1971, 1, 16-25.
- A.-M. DROUIN : «*Le modèle en question*», Aster, modèles et modélisation, Paris, INRP, 1988, 7, 1-19.
- A. DUCASSE, J.-R. LALANNE, P. LALANNE et J.-C. RAVEZ : «*Concepts modernes sur la structure électronique des molécules et la liaison chimique*», Bulletin de l'Union des Physiciens, 1985, 678, 129-220.
- A. DUMAS-CARRÉ et A. WEIL-BARAIS : «*Essais d'objectivation et de transformation des pratiques médiatrices des enseignants dans l'éducation scientifique*», document ronéoté LIREST, Paris, Université Paris 7, 1994.
- F. HALBWACHS : «*La pensée physique chez l'enfant et le savant*», Neufchâtel, Delachaux et Niestlé, 1974.
- A.-M. INGHAM et J.-K. GILBERT : «*The use of analogue models by students of chemistry at higher education level*», International Journal of Science Education, 1991, volume 13, 2, 193-202.
- J.-L. MARTINAND (sous la direction de) Développement d'activités de modélisation dans l'enseignement des Sciences Physiques, Rapport de fin de contrat LIREST DESUP. Document LIREST, Paris, Université Paris 7, 1991.
- L. PAOLONI : «*La représentation des molécules en chimie : une image de la réalité ou la réalité d'une image ?*», Actualité chimique, 1985, 5, 48-52.
- A. WEIL-BARAIS : «*Bilan des travaux sur les apprentissages en sciences physiques*», Document LIREST, Paris, Université Paris 7, 1993.
- Physique-chimie, classe de seconde, Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, spécial n° 3, Paris, 1987, 74-75.
- Physique-chimie, classe de première S, E, Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, supplément n° 21, Paris, 1988, 72-77.
- Physique-chimie, classe de terminale C, D, E, Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, supplément n° 21, Paris, 1988, 138-161, 194-199.
- Nouveaux programmes des classes de seconde, de première, Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, hors série septembre 1992, I, 77, 93, 96-102, II, 51-52, 61-62.