

Modèle moléculaire ou Maquette de molécule ?

*Résultats d'une enquête auprès d'élèves de terminale
sur l'impact des modèles moléculaires
et des représentations infographiques*

par Marie-Anne BESSON
Lycée Maximilien Sorre, 94230 Cachan

et Dominique DAVOUS
GREDEC, Bâtiment 72, Université Pierre et Marie Curie,
75252 Paris Cedex 05

INTRODUCTION

Les images que nous utilisons pour concevoir les molécules sont-elles des maquettes, ou bien s'agit-il de représentations que nous manipulons selon des règles [1] dont les conventions sont plus ou moins clairement explicitées [2] ?

Notre travail porte sur les modèles moléculaires ; ils font actuellement partie du matériel pédagogique usuel. Leur usage est recommandé par les programmes et les instructions dans l'enseignement secondaire [3] et des photographies de modèles illustrent largement les manuels. Mais nous n'avons vu qu'un manuel fournissant aux élèves une «fiche technique» précisant les conventions des modèles moléculaires [4]. On trouve quelques articles, écrits autour des années 1970, faisant une mise au point sur les différents modèles existant dans le commerce [5]. Depuis, il existe une bonne standardisation des conventions. On trouve par exemple dans les boîtes de modèles moléculaires S.A.S.M.¹ un mode d'emploi explicite qui gagnerait à être plus souvent lu.

On assiste parallèlement à un développement de l'infographie moléculaire y compris dans l'enseignement. Citons en particulier les travaux de Doucet [6] et la mise au point de Weber [7]. Dans les

1 99, rue Oberkampf, 75011 Paris.

manuels de Terminale les plus récents, on trouve des reproductions de représentations moléculaires obtenues par infographie. On peut remarquer que, dans les manuels, les photographies sont essentiellement utilisées à titre d'illustration, sans que ni l'intérêt ni les conventions de ces représentations ne soient toujours explicités.

Nous nous sommes donc demandé à quoi correspondent ces modèles moléculaires pour les élèves de Terminale de l'enseignement secondaire, en particulier s'ils établissent une relation avec leurs connaissances sur la structure moléculaire. Nous avons également tenté de cerner s'ils connaissent les représentations par infographie et quelle signification ils leur donnent.

1. PRÉSENTATION DE L'ENQUÊTE

C'est pour tenter d'apporter quelques éléments de réponse à ces questions que nous avons effectué une enquête auprès d'élèves de Terminale au cours du premier trimestre de l'année scolaire 1988-1989.

Nous avons soumis 106 élèves provenant de sections scientifiques d'enseignement général (TC, TD) ou technologique (TF6, TF7) ainsi que d'une section non scientifique (TB) à un questionnaire². Un tel échantillon ne permet évidemment pas d'obtenir des réponses significatives du point de vue statistique, mais on peut penser que les raisonnements les plus caractéristiques y seront représentés.

Lors de la passation du questionnaire, les différentes feuilles ont été distribuées successivement (la seconde était donnée à l'élève lorsqu'il rendait la première, et ainsi de suite ...). Les questions posées se rapportaient aux modèles suivants qui étaient présentés lorsque la feuille correspondante était donnée aux élèves :³

Numéro de feuille	Modèle(s)
1° 2°	Modèle compact d'acide éthanóique
3°	Modèle éclaté d'acide éthanóique
4°	Modèle éclaté et compact de propène
5°	Diapositives reproduisant des représentations infographiques ³

2 Voir le texte dans l'annexe A.

3 Voir les reproductions dans l'annexe B.

2. RÉSULTATS

Nous présentons ici les principaux résultats de cette enquête.

2.1. Connaissance des modèles moléculaires et des représentations de molécules sur ordinateur

Tous les élèves ont vu des modèles moléculaires en classe. La plupart (soit 76 élèves sur 106) en ont eux-mêmes construit. En situation extra-scolaire, ils en ont surtout rencontré dans les musées (surtout au Palais de la Découverte, cité 32 fois) et dans des revues («Science et Vie» est la plus citée : 16 fois).

Seuls les élèves de TF7 ont vu des représentations de molécules par ordinateur en cours (de biochimie). Par ailleurs, ces représentations ont été remarquées par les élèves dans des revues, des livres, à la télévision ou à l'occasion de visites d'entreprises.

Tableau 1 : Les élèves sont-ils familiers des modèles moléculaires et des représentations infographiques ?

Sources d'information	Modèles compacts	Représentations infographiques				
		1°	2°	3°	4°	5°
En classe	105	6	0	7	3	0
Dans un livre		24	4	1	3	3
Dans une revue	45	27	22	10	1	13
Dans un musée	44	7	2	1	0	1
Visite d'entreprise		1	0	0	0	4
Télévision	4	2	4	0	0	10
Autre	9	6	0	7	3	0

Quelques réponses laissent penser qu'il y a eu confusion entre représentation de molécule par ordinateur et photographie de modèle compact. Pour quelques autres, il semble y avoir confusion avec d'autres représentations par ordinateur (par exemple, sont citées comme applications le scanner ou la simulation de vol).

2.2. Désignation des différentes parties des modèles moléculaires

Lorsqu'on demande aux élèves de désigner ce qui leur est présenté, ils utilisent peu les termes de «modèle moléculaire», mais pour la très grande majorité d'entre eux, il s'agit clairement de la représentation d'une molécule. Les formulations utilisées pour désigner les atomes ont

été étudiées par recouplement entre les réponses aux questions 2 («*Comment désigneriez-vous ce type d'objet ?*»), 4 («*Pourquoi y a-t-il différentes couleurs dans cet objet ?*»), 6 («*Que représente chaque partie du modèle ou "boule" ?*»), 9 («*Pourquoi les "boules" sont-elles de tailles différentes ?*») et 14 («*Que représentent, dans ce modèle, les "boules" ? les tiges ?*»).

Tableau 2 : Désignation des différentes parties d'un modèle moléculaire.⁴⁵⁶⁷

Désignation	TB	TC	TD	TF6	TF7	Total
Atome	5	19	19	9	13	65
Élément-atome	0	4	2	2	3	11
Élément	1	0	4	1	0	6
Total réponses correctes	6	23	25	12	16	82
Intervention atome-molécule ⁴	2	0	0	0	0	2
Atome seul terme utilisé ⁵	0	0	3	0	0	3
Molécule seul terme utilisé ⁶	5	1	0	0	1	7
Atome-molécule non distingués ⁷	6	2	0	0	0	8
Total réponses incorrectes	12	3	3	0	1	20
Autres	3	0	0	0	1	4
Nombre d'élèves	22	26	28	12	18	106

On peut constater que, si la quasi-totalité des élèves des sections scientifiques (90 %) désignent correctement les atomes, il n'en est pas de même en section B : beaucoup d'élèves de cette section ne font pas clairement la distinction entre atome et molécule.

Par contre, les liaisons sont bien reconnues, mais elles ne sont pas toujours qualifiées de covalentes. Des réponses à d'autres questions permettent de penser qu'il y a peut-être une ambiguïté à propos de la nature de la liaison (assimilation de la liaison chimique à une liaison mécanique).

- 4 L'atome est constitué de molécules.
- 5 Le terme *atome* désigne à la fois l'atome et la molécule.
- 6 Le terme *molécule* désigne à la fois l'atome et la molécule.
- 7 Les termes *atome* et *molécule* sont employés indifféremment pour désigner les atomes et les molécules

2.3. Conventions et modélisation

2.3.1. Modèles moléculaires

Couleur : Les couleurs ont bien un caractère conventionnel pour les élèves qui associent une couleur à un élément.

Taille : Pour la majorité des élèves, la taille de la «boule» est en relation avec la taille de l'atome (60 réponses sur 94 réponses à la question 9⁸). Mais elle est souvent reliée à la masse de l'atome (exemple : «leur taille diffère selon la masse de chaque atome»). Par ailleurs 18 réponses mettent en avant les masses différentes des atomes. Y a-t-il pour ces élèves variation dans le même sens de la taille et de la masse des atomes (ce qui est faux pour une même ligne de la classification périodique) ?

Forme : La question 10 : «*Pourquoi les "boules" ne sont pas de "vraies sphères" ?*» avait pour but d'évaluer si les élèves mettaient en relation la forme de la «boule» avec l'interpénétration des atomes lors de la formation de la liaison de covalence (ce qui correspond à la distinction entre rayon de Van der Waals et rayon covalent).

Nous avons représenté l'importance des différentes catégories de réponses selon la section sous forme de graphiques sectoriels (voir figure 1). On peut remarquer que les élèves des sections C et surtout D privilégient relativement les réponses du type «assemblage du modèle»⁹ tandis que les élèves des sections F7 et surtout F6 privilégient relativement les réponses du type «interpénétration des atomes».

Échelle¹⁰ : on ne peut manquer d'être frappé par le nombre important de réponses «je ne sais pas», ainsi que par le fait que la réponse « 10^{10} à 10^{14} fois» soit majoritaire dans toutes les sections, la bonne réponse étant « 10^7 à 10^{10} fois». Les élèves semblent donc avoir répondu à partir de l'idée «une molécule, c'est très petit», sans calcul ni estimation à l'appui de la réponse.

8 Voir annexe A.

9 Les réponses classées dans cette catégorie ne sont pas ambiguës : il s'agit d'une survalorisation de l'aspect «jeu de construction» des modèles moléculaires.

10 Voir question 11 dans l'annexe A.

Tableau 3 : Échelle des modèles moléculaires.

Réponse	TB	TC	TD	TF6	TF7	Total
De 1 à 10 ⁴ fois	0	1	0	0	1	2
De 10 ⁴ à 10 ⁷ fois	1	2	0	0	3	6
De 10 ⁷ à 10 ¹⁰ fois	5	6	5	2	6	24
De 10 ¹⁰ à 10 ¹⁴ fois	9	8	15	9	6	47
Ne sais pas et réponses incertaines	7	9	8	1	1	27
Nombre d'élèves	22	26	28	12	18	106

Dans le cas du modèle éclaté, les tiges différentes sont mises en relation avec les différences de liaisons (multiplicité) et la longueur des tiges avec les longueurs des liaisons. La tige aide à reconnaître la liaison, mais on peut craindre là encore que la tige n'induisse une assimilation liaison chimique-liaison mécanique.

Lorsqu'il s'agit d'utiliser ces conventions, on s'aperçoit que la plupart des élèves de B ne peuvent passer ni du modèle compact à la formule brute, ni du modèle éclaté à la formule développée : ces conventions n'ont donc aucun caractère opératoire.

2.3.2. Représentations par ordinateur

Des questions n'ont été posées à propos des conventions utilisées que dans le cas où elles étaient voisines de celles des modèles moléculaires¹¹.

Les couleurs ont vu leur rôle bien identifié, parfois hâtivement généralisé. (Dans le cas de la 3^{ème} représentation par ordinateur, les couleurs permettaient de reconnaître des fragments de la molécule constitués de quelques acides aminés, dépassant donc l'atome. Or 9 élèves ont associé la couleur à un élément, voire à un atome, particulier).

Les pointillés représentent le plus souvent l'espace occupé par les atomes, mais parfois les électrons. Cette dernière réponse demanderait une analyse plus approfondie (chaque point représenterait-il un électron, ou l'ensemble des points le «nuage électronique») ?

11 Voir questions 24 et 27 dans l'annexe A.

Les lignes représentent bien les liaisons. Toutefois, les réponses font peu souvent apparaître la nature chimique de la liaison. A propos de la 3^{ème} représentation¹², quelques élèves ont indiqué que les lignes représentaient à la fois les liaisons et les contours de la molécule.

2.4. Intérêt des différentes représentations

2.4.1. Intérêt de chaque type de modèle moléculaire

Les élèves de Terminale B ont peu répondu à la question 18 : «*Parmi les caractéristiques de la molécule, quelles sont celles qui apparaissent le mieux sur chacun des deux modèles ?*». Dans l'ensemble, les réponses ont été plus nombreuses pour le modèle éclaté (voir figure 2). Elles mettent en avant l'existence des liaisons. Les caractéristiques géométriques sont souvent citées, mais il s'agit plus souvent des distances interatomiques (21 fois) que des angles de liaison. La rigidité de la molécule au niveau de la double liaison n'a jamais été citée.

Pour le modèle compact, les réponses, moins nombreuses, mettent en avant la forme de la molécule, la proximité des atomes (compacité).

Les réponses à la question 19 : «*Des deux types de modèles, quel est celui qui, à votre avis, représente la molécule de la façon la plus exacte ?*» font apparaître que les élèves ont une préférence affirmée, soit pour le modèle éclaté, soit pour le modèle compact (voir figure 3). Ces réponses tranchées laissent penser que les limites des modèles moléculaires et leur complémentarité ne sont pas envisagées.

La représentation des liaisons constitue le principal argument des élèves qui pensent que le modèle éclaté représente la molécule de la façon la plus exacte. Si ce modèle est choisi, cela tient au fait qu'il apporte un maximum d'informations.

Le modèle compact est choisi en raison de sa meilleure ressemblance avec la réalité, parce qu'il montre mieux la forme de la molécule, la proximité des atomes (compacité), mais aussi l'absence de liaison matérialisée. Il semblerait donc que la matérialisation de la «tige-liaison» joue un rôle important dans l'image que certains élèves se font de la molécule.

12 Voir annexe B.

2.4.2. Intérêt des différentes représentations sur ordinateur

Les diapositives montrant des représentations sur ordinateur ont été proposées dans un ordre tel qu'elles s'éloignaient de plus en plus du «modèle compact». Pour les 3 premières, une comparaison était demandée, pour les 2 suivantes, un commentaire. Les arguments les plus souvent cités ont trait à la clarté de la représentation, la possibilité de représenter des grosses molécules, la représentation du relief, des atomes et des liaisons. De ces points de vue, le 2^{ème} modèle est celui qui, d'après les réponses des élèves, présente le plus d'avantages. Les commentaires sur les modèles 4 et 5 sont généraux ou anecdotiques (objet auquel fait penser la représentation) mais n'indiquent pas l'avantage du modèle pour traiter un problème chimique particulier.

CONCLUSION

Cette enquête est une première approche de l'interprétation par les élèves des représentations des molécules.

En dehors du manque de distinction entre atome et molécule fréquent chez les élèves de terminale B, elle fait ressortir l'importance de la «tige-liaison» dans la représentation des molécules (une élève précisant même qu'une molécule est constituée d'atomes et de liaisons), une ambiguïté existant parfois entre liaison chimique et liaison mécanique. Les modèles moléculaires semblent être pour les élèves une maquette de la molécule, une représentation en plus grand de la réalité, qu'on utilise trop souvent comme un simple jeu de construction. Les limites et la complémentarité des deux types de modèles moléculaires sont peu vues. Peut-être l'enseignement ne prend-il pas suffisamment en compte ces aspects.

Par ailleurs, les représentations infographiques, beaucoup moins connues, ont suscité de l'intérêt, mais les élèves ont fourni peu d'éléments d'interprétation et ne connaissent pas les règles et conventions qui président à leur utilisation. Or il paraît opportun, à l'heure où les représentations sur ordinateur font leur apparition dans les manuels scolaires, de bien faire ressortir l'intérêt et la spécificité de chacun des modèles moléculaires comme de chaque type de représentation infographique. Le choix de la représentation utilisée devrait alors être fait en fonction du problème particulier étudié.

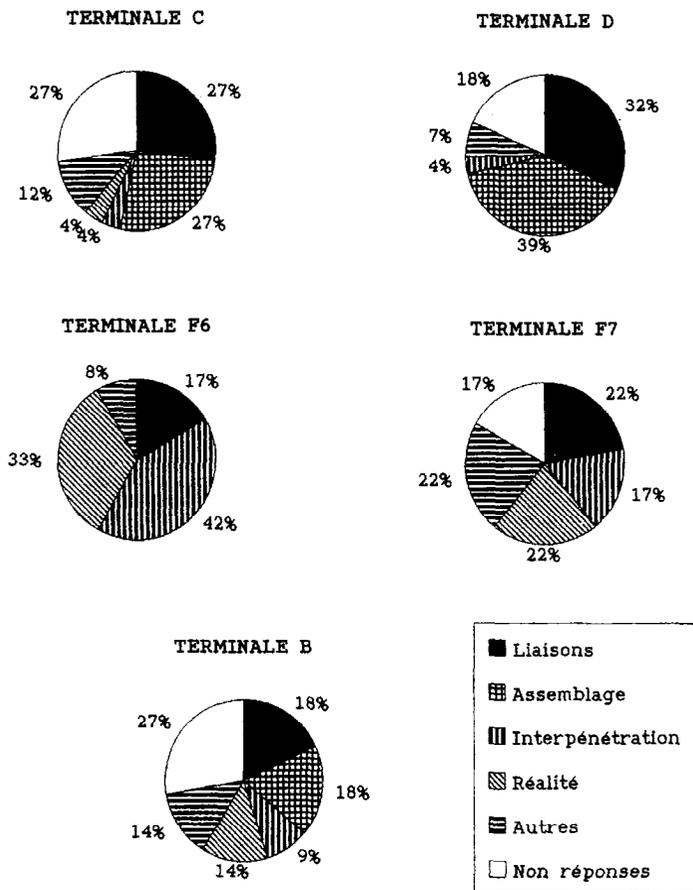
Cette enquête a pu être réalisée grâce à la collaboration de collègues des lycées J-B. Pocquelin (St-Germain-en-Laye), E.N.C.P.B. (Paris 13^{ème}), G. Eiffel et M. Sorre (Cachan), que nous remercions ici.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] L. PAOLONI : *La représentation des molécules en chimie : une image de la réalité, ou la réalité d'une image ?*, Actualité chimique, 1985, 5, 47-52.
- [2] G. OURISSON : *Structure moléculaire, modèles, dessins, idéogrammes* in : Re.Co.Di.C. et Société Chimique de Belgique (éditeurs), L'enseignement de la chimie et les techniques audiovisuelles, Bruxelles, U.L.B., 1984.
- [3] Sciences physiques, classes de Seconde, Première, Terminale, C.N.D.P., Paris, 1988.
- [4] A. DURUPHTY, O. DURUPHTY, A. JAUBER, R. BAUTRANT : Chimie, Première SE, Hachette, Paris, 1988.
- [5] B. CASTAGNA : *Les modèles moléculaires et cristallins, auxiliaires indispensables à l'enseignement de la chimie moderne*, Unichimie, 1971, 1, 16-25.
- [6] J-P. DOUCET, J-E. DUBOIS, J. WEBER : *Représentations et simulations moléculaires*, Courrier du C.N.R.S., 1987, 66-67-68, 68-70.
- [7] J. WEBER : *Infographie en enseignement de la chimie : applications récentes et futurs développements* in : Re.Co.Di.C., Les recherches en didactique de la chimie, CUDNME, Poitiers, 1985, IV, 65-85.

FIGURE 1

Pourquoi les "boules"
ne sont pas de "vraies" sphères ?



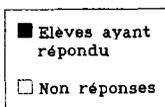
Types de réponses

- Liaisons : c'est à cause des liaisons
- Assemblage : c'est pour permettre l'assemblage du modèle
- Interpénétration : c'est à cause de l'interpénétration des atomes
- Réalité : c'est pour que le modèle soit plus proche de la réalité

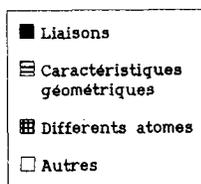
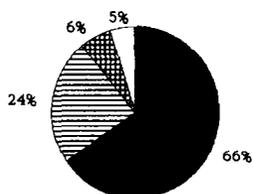
FIGURE 2

Parmi les caractéristiques de la molécule, quelles sont celles qui apparaissent le mieux sur chacun des modèles ?

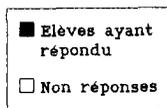
REponses POUR LE MODELE ECLATE



INTERET DU MODELE ECLATE



REponses POUR LE MODELE COMPACT



INTERET DU MODELE COMPACT

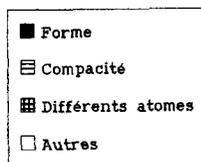
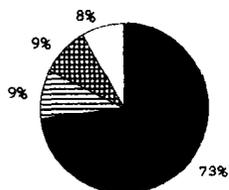
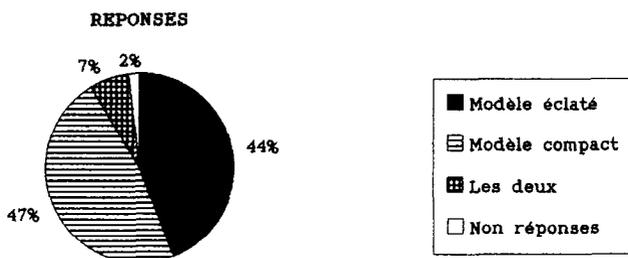
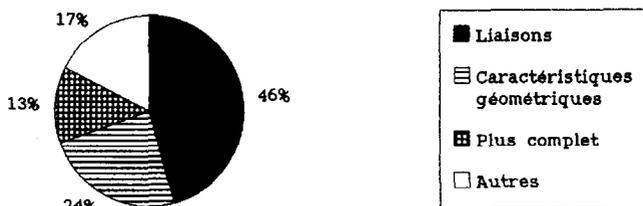


FIGURE 3

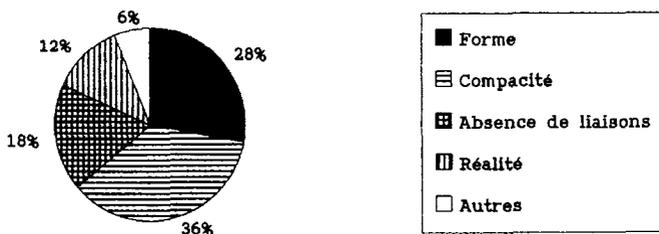
Des deux types de modèles (éclaté et compact) quel est celui qui, à votre avis, représente la molécule de la façon la plus exacte ? Pourquoi ?



ARGUMENTS EN FAVEUR DU MODELE ECLATE



ARGUMENTS EN FAVEUR DU MODELE COMPACT



ANNEXE A : QUESTIONNAIREFEUILLE N°1

NOM : PRENOM :

CLASSE :

AGE :

SEXE : M F

Quelles études envisagez-vous après le baccalauréat ?

.....

1 Avez-vous déjà rencontré de tels objets ?OUI NON

Si oui, indiquez où : Précisez

- en classe - dans une revue
ou un journal - dans un musée
ou une exposition - autre 2 Comment désigneriez-vous ce type d'objet ?

.....

3 Avez-vous déjà construit personnellement ce type d'objet ?OUI NON

A quelle occasion ?

.....

4 Pourquoi y a-t-il différentes couleurs dans cet objet ?

.....

5 Comment ces couleurs ont-elles été choisies ?

.....

FEUILLE N°2

NOM :

Ce qui vous est présenté est un modèle de molécule.

- 6 Que représente chaque partie du modèle ou "boule" :
- blanche :
 - rouge :
 - noire :

- 7 Avez-vous répondu à la question précédente :
- à partir de vos connaissances antérieures ?
 - par déduction à partir du modèle ?

- 8 Pouvez-vous donner la formule brute de cette molécule ?
.....

- 9 Pourquoi les "boules" sont-elles de tailles différentes ?
.....

- 10 Pourquoi les "boules" ne sont-elles pas de "vraies" sphères ?
.....

- 11 Par rapport à la taille du modèle, combien de fois la molécule réelle est-elle plus petite ?

de 1 à 10^4 fois ?	de 10^4 à 10^7 fois ?	de 10^7 à 10^{10} fois ?	de 10^{10} à 10^{14} fois ?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(mettre une croix dans la case correspondant à votre opinion)

Je ne sais pas

FEUILLE N°3

NOM : _____

12 Avez-vous déjà rencontré ce type de modèles ?

OUI

NON

Où ?.....

13 Avez-vous déjà construit personnellement ce type de modèle ?

OUI

NON

A quelle occasion ?
.....**14** Que représentent, dans ce modèle,

- les "boules" ?.....

- les tiges ?.....

FEUILLE N°4

NOM :

Deux modèles d'une molécule d'hydrocarbure vous sont présentés :

- le modèle A est le modèle éclaté
- le modèle B est le modèle compact

A propos du modèle A :

15 Pourquoi les tiges ne sont-elles pas les mêmes ?

.....

.....

16 Pourquoi sont-elles de longueurs différentes ?

.....

.....

17 Pouvez-vous donner la formule développée de cet hydrocarbure ?

18 Parmi les caractéristiques de la molécule, quelles sont celles qui apparaissent le mieux sur le modèle A ?

.....	sur le modèle B ?
.....

19 Des deux modèles A et B, quel est celui qui, à votre avis, représente la molécule de la façon la plus exacte ?

Modèle A

Modèle B

Pourquoi ?

.....

20 Ces modèles moléculaires vous semblent-ils donner une bonne représentation de ce que vous savez sur les molécules ? Précisez.

.....

.....

FEUILLE N°5

NOM :

Les photographies qui vont vous être présentées sont des modèles de molécules réalisés sur ordinateur. Ces modèles sont tous différents et représentent des molécules différentes.

Modèle n°1

21 Avez-vous déjà vu ce type de représentation ?

OUI NON Où ?.....22 Par rapport à une construction manuelle, quels sont les avantages et les inconvénients de cette représentation à l'ordinateur ?
.....
.....Modèle n°2

23 Avez-vous déjà vu ce type de représentation ?

OUI NON Où ?.....

24 Indiquez ce que représentent, à votre avis,

- les pointillés :.....
- les couleurs :
- les lignes :25 Comparez cette représentation à la précédente (avantages et inconvénients).....
.....Modèle n°3

26 Avez-vous déjà vu ce type de représentation ?

OUI NON Où ?.....27 Que représentent, à votre avis, les lignes ?.....
.....28 Comparez cette représentation à la précédente (avantages et inconvénients).....
.....

Modèle n°4

29 Avez-vous déjà vu ce type de représentation ?

OUI NON Où ?.....

30 Que pouvez-vous dire de cette représentation ?

.....

31 Avec laquelle des représentations précédentes trouvez-vous le plus de ressemblance ?.....

Modèle n°5

32 Avez-vous déjà vu ce type de représentation ?

OUI NON Où ?.....

33 Que pouvez-vous dire de cette représentation ?

.....

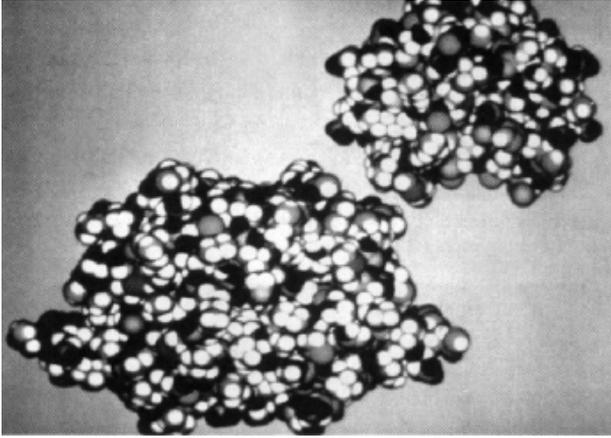
34 Avec laquelle des représentations précédentes trouvez-vous le plus de ressemblance ?.....

35 Connaissez-vous quelques exemples d'application ou quelques domaines d'utilisation de ces images ?

.....

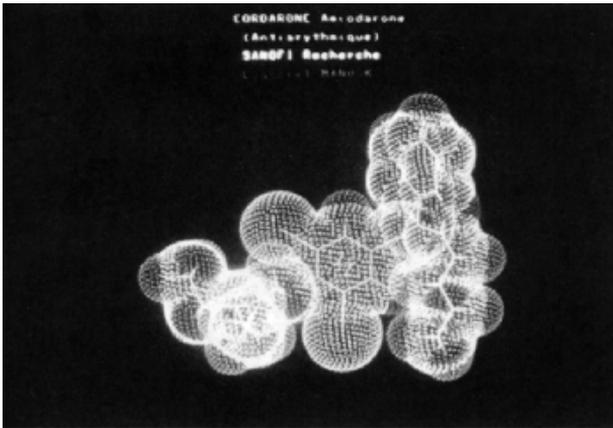
ANNEXE B

Représentations des molécules par infographie présentées avec
la feuille n° 5 du questionnaire



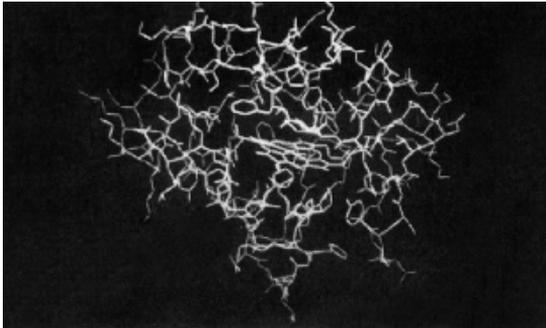
Modèle 1 : représentation du type «modèle compact» d'utéroglobine (\varnothing 3,6 nm) et de phospholipase (\varnothing 5 à 6 nm).

Source : laboratoire du professeur Momon.

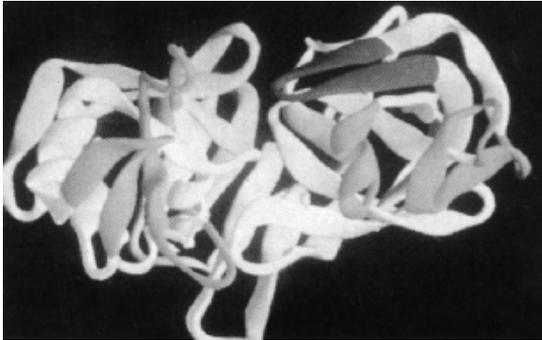


Modèle 2 : représentation du type «modèle compact» d'amiodarone (\varnothing moyen 1,5 nm).

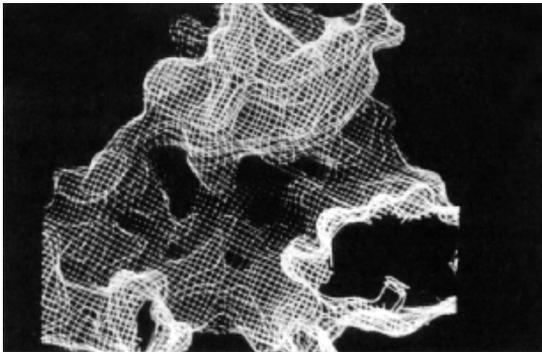
Source : laboratoire du professeur Momon.



Modèle 3 : représentation du type «fil de fer» d'une protéine (\varnothing moyen 6 nm).
Source : laboratoire du professeur Momon.



Modèle 4 : représentation du type «ruban» de rénine (\varnothing moyen 8 nm).
Source : laboratoire du professeur B. Castro.



Modèle 5 : représentation du type «surface de Connolly» d'un rhinovirus (1 maille représente 0,1 nm).
Source : laboratoire du professeur Momon.