

# MODELISATION ET CONSTRUCTION DE SAVOIRS EN SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

**Christian ORANGE**

Professeur de Sciences de l'éducation  
IUFM des Pays de la Loire, université de Nantes  
CREN, EA 2661

Le but de cette contribution est de présenter, d'un point de vue didactique, les liens qui existent, en sciences de la vie et de la Terre, entre modélisation et apprentissages. En espérant que cela puisse éclairer les réflexions sur les relations entre modélisation et enseignement des mathématiques, même si les modélisations scolaires en biologie ne font pas nécessairement appel aux mathématiques.

Partant de l'état actuel des relations entre biologie et modélisation dans les pratiques usuelles d'enseignement, nous donnerons, en contrepoint, des éléments de l'histoire des relations entre modélisation et savoirs en biologie. Ces repères nous permettront alors de revenir à la question de la modélisation en classe de sciences et de la place qu'elle pourrait y tenir.

## 1. Enseignement de la biologie et modélisation : une relation encore bien ténue

La question de la modélisation est une question difficile, et peut être davantage en biologie que dans des domaines scientifiques plus mathématisés. Si on en croit Georges Canguilhem, historien et épistémologue, « *s'il n'est pas aisé de s'entendre sur le rôle et la portée des modèles dans les sciences physiques... il paraît plus malaisé encore de s'entendre sur le rôle et la portée des modèles dans les sciences biologiques, et même de s'entendre sur la définition de tels modèles* » (Canguilhem, 1983). Il n'est donc pas étonnant de trouver un certain nombre d'ambiguïtés dans les programmes d'enseignement des SVT en ce qui concerne la place des modèles et de la modélisation.

Pour l'école élémentaire, les programmes de 2002 (cycle 3) faisaient une seule mention aux modèles ; elle concernait le « ciel et la Terre » : « *L'objectif est en tout premier lieu d'observer méthodiquement les phénomènes les plus quotidiens et d'engager les élèves dans une première démarche de construction d'un modèle scientifique* ». Cette phrase disparaît en 2007, mais on trouve une mention aux modèles dans le tableau des capacités attendues en fin de cycle 3 : « *Pratiquer une démarche d'investigation. Savoir observer, questionner, formuler une explication possible (hypothèse), en utilisant éventuellement un modèle* ». On ne construit plus des modèles, on les utilise. Notons que modèle et modélisation ne sont pas mentionnés dans la description de la démarche d'investigation.

Pour le collège, l'« Introduction commune aux différentes disciplines scientifiques » (BO n°6, HS, 19 avril 2007), fait référence d'une manière générale à la modélisation, en

lien avec les mathématiques : « *Les mathématiques fournissent des outils puissants pour modéliser des phénomènes et anticiper des résultats, en particulier dans le domaine des sciences expérimentales* ». Mais les programmes de SVT sont très avares sur la question. Une mention dans l'introduction des programmes de 5<sup>ème</sup> dans un acception particulière (modélisation analogique) : « *L'expérimentation et le recours à la modélisation analogique (maquette) sont introduits avec toute la prudence nécessaire* ». Un peu plus loin, dans la partie géologie, un exemple d'activité est défini ainsi : « *Modélisation de processus de fossilisation* ». Il s'agit également d'un travail de maquette.

En quatrième la modélisation est à nouveau évoquée en introduction des programmes : « *C'est l'occasion d'entreprendre les apprentissages liés à l'élaboration de modèles simples et d'exercer la capacité de synthèse qui se développe progressivement chez l'élève de cet âge.* » On la retrouve par la suite, surtout en géologie. Concernant les séismes : « *modélisation de l'enregistrement d'ondes avec un dispositif adapté* ». Et pour le volcanisme est mentionnée la capacité : « *Observer, questionner, formuler une hypothèse et la valider, modéliser la formation des roches volcaniques* ».

En troisième, dans la partie « diversité et unité des êtres humains », un exemple d'activité est donné : « *Fabrication de maquette afin de modéliser un chromosome* ».

Donc, à l'exception peut être de la phrase extraite de l'introduction aux programmes de 4<sup>ème</sup> (voir plus haut), en SVT, au collège, le modèle est une maquette qui sert à rendre l'enseignement concret quand observations et expériences ne le permettent pas : c'est un pis-aller.

Par opposition, un texte intitulé « l'enseignement des sciences au lycée » (BO HS n°6, 1999), qui coiffe les programmes de sciences physiques, de sciences de la vie et de la Terre et de mathématiques, donne toute sa place à la modélisation dans l'activité scientifique :

« *L'exercice de modélisation du réel est sans doute la démarche la plus importante et aussi la plus difficile dans la démarche scientifique. Passer du concret à l'abstrait, de l'observation à sa traduction formalisée demande que l'on soit capable d'extraire du monde réel une représentation simplifiée, le degré de simplification dépendant du niveau où l'on se situe. La modélisation fait appel à des langages symboliques qui, suivant les cas, peuvent être des diagrammes, des schémas ou des expressions mathématiques. Le professeur doit s'efforcer sur des exemples simples de montrer comment se fait la modélisation, ceci dans toutes les sciences.* » Mais ce texte n'est pratiquement pas connu des enseignants de SVT et il y a fort à parier que les concepteurs des programmes de cette discipline n'ont pas vraiment participé à sa rédaction. Les programmes de SVT de lycée donnent cependant une image plus complète des modèles et de la modélisation que ceux du collège, principalement pour les sciences de la Terre, mais aussi pour la biologie moléculaire. Voilà quelques extraits

« *Prolongeant les acquis du collège et de la classe de seconde, il s'inscrit dans une démarche scientifique visant à la construction de modèles explicatifs qui constituent un cadre conceptuel au questionnement et à la pratique expérimentale* » (programme de première S, 2000, présentation générale, Sciences de la Terre)

« *Exploitation de logiciels sur les modèles moléculaires et structures spatiales de protéines enzymatiques et du complexe enzyme-substrat* » (programmes de première S 2000, activités possibles concernant les enzymes)

« *L'identification des paramètres qui contrôlent le climat de la Terre est essentielle pour construire des modèles climatiques* » (programme terminale S 2001, enseignement de spécialité, « les climats passés de la Terre ».)

On voit donc, sur l'ensemble des enseignements des SVT, de l'école au lycée, une évolution nette de l'utilisation du terme de modèle : de simples maquettes illustratives, les modèles deviennent des constructions explicatives prenant, pour certains domaines de biologie et surtout de géologie, une réelle importance dans l'activité scientifique. S'agit-il d'une évolution curriculaire voulue ou n'est-ce qu'une trace de l'hétérogénéité rédactionnelle des programmes ? Difficile à dire dans la mesure où les concepts de modèle et de modélisation ne sont jamais explicités.

## 2. Petit détour par l'histoire des modèles et de la modélisation

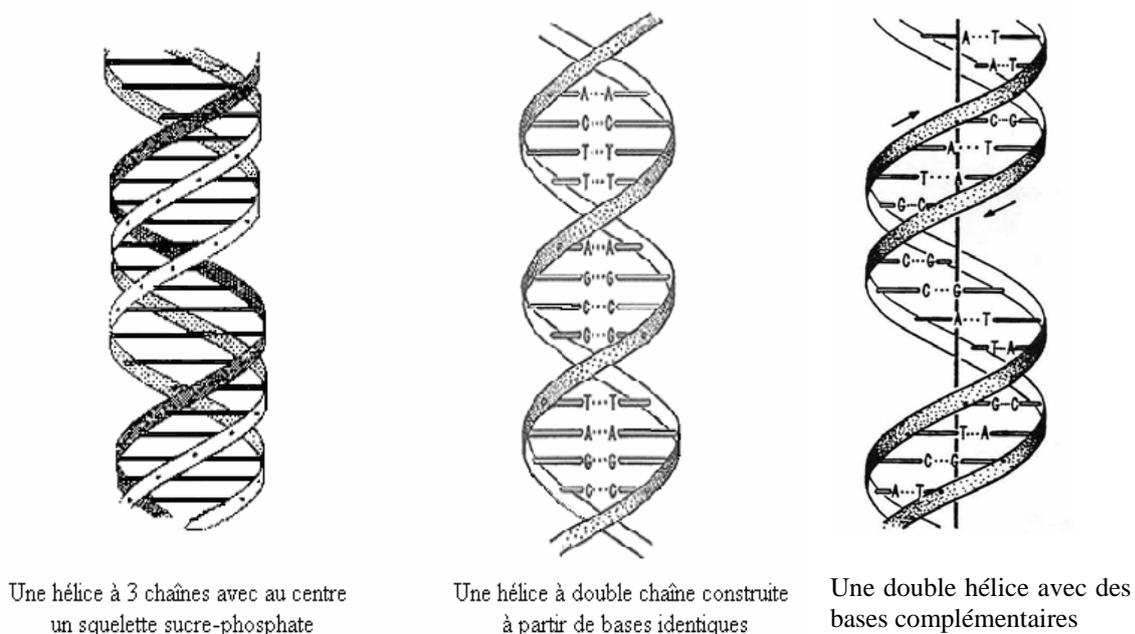
De façon à mieux comprendre les relations possibles de la modélisation avec l'apprentissage des SVT, il n'est pas inutile de faire un détour historique. Quand commence-t-on à parler de modèles ? Au 19<sup>ème</sup> siècle, en sciences physiques, en pleine période du positivisme qui, sur le continent européen, pose un interdit sur tout recours à des explications et limite la science à l'établissement des lois. Des scientifiques, anglais notamment, développent alors des travaux de modélisation en physique qui s'appuient sur ce qui leur semble le fondement de toute la physique : la mécanique.

Ainsi Lord Kelvin déclare-t-il que le vrai sens de la question « *comprendons-nous ou ne comprenons-nous pas tel sujet de Physique? est celui-ci : pouvons-nous ou ne pouvons-nous pas construire un modèle mécanique correspondant* » (cité par Duhem, 1914). Maxwell développe des modèles de tourbillons qui conduiront à ses fameuses équations de l'électromagnétisme.

Le débat entre partisans et opposants des modèles fait rage ; les développements par Boltzmann de modèles moléculaires qui donneront naissance à la thermodynamique statistique sont très critiqués. Celui-ci a beau revendiquer le droit de recourir à des analogies et des images mécaniques à des fins heuristiques, sans affirmer pour autant la "réalité" de l'hypothèse moléculaire, ses travaux sont nettement rejetés par beaucoup de physiciens. C'est cette problématique de scientifiques, contraints de justifier l'utilisation d'hypothèses mécanistes face à une opposition positiviste, qui définit alors le concept de modèle. Comme le note Suzanne Bachelard (1979), l'apparition consciente des modèles dans la science de cette époque n'est pas contingente. C'est un débat méthodologique qui conduit à l'explicitation et à la thématization de l'idée de modèle et de modélisation. Une querelle proche existe à la même période en biologie, dans le domaine qui deviendra la génétique, mais sans que le mot modèle ne soit à ma connaissance utilisé. Des constructions théoriques concernant la transmission des caractères d'une génération à l'autre se développent qui font intervenir des "particules": Darwin et ses "gemmules", de Vries et ses "pangènes", Weismann et ses biophores (Mayr E., 1989). Mais ces unités génétiques décrivent-elles des particules réelles ou ont-elles une simple valeur heuristique ? Doit-on rejeter ce type d'explication ? Johannsen, celui qui invente le mot gène en 1909, ne veut y voir que des unités de calcul : « *En aucun cas nous n'avons le droit de définir le gène comme une unité morphologique* » (cité par Mayr E., 1989). Ce qui est rejeté alors, c'est l'explication mécaniste qui ferait perdre à la biologie son indépendance par rapport à la physique. Il y a plus qu'une similitude dans ces débats en physique et en biologie: il s'agit, dans les deux cas, de délimiter le territoire d'un domaine scientifique et de définir ce qui est recevable ou non comme explication.

Citons encore Suzanne Bachelard (1979) : « *Les problèmes posés par l'utilisation des modèles renvoient toujours finalement à des questions fondamentales telle que: "Qu'est-ce qu'expliquer pour la science de telle époque?"* ».

Le développement de la biologie moléculaire, au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle, consacre la place des modèles en biologie. Un des cas les plus emblématiques est le travail de Watson et Crick sur la molécule d'ADN. Alors que des biologistes londoniens (Rosalind Franklin et Maurice Wilkins) accumulent des analyses de cette molécule par spectrographie aux rayons X en espérant ainsi découvrir sa structure, à Cambridge Watson et Crick imaginent et construisent, sous forme de schémas et de maquettes, des formes possibles, sans jamais faire une expérience, mais en puisant des informations ici ou là (et notamment chez Franklin et Wilkins) pour éprouver leurs modèles. Cette méthode, qui ne plaît guère à Franklin, les conduira, après plusieurs essais (voir figure 1), à proposer une structure qui semble remplir toute les conditions (voir notamment Watson, 1984). On touche là une caractéristique importante du processus de modélisation : il s'agit, comme le dit François Jacob, d'imaginer un monde possible et de la soumettre à la critique. Si cette critique est en partie de type expérimental, le pouvoir explicatif du modèle ainsi produit a au moins autant d'importance que son adéquation aux résultats expérimentaux le concernant directement. Ainsi, le modèle finalement retenu par Watson et Crick, qu'ils présentent en un article de deux pages dans Nature (Watson & Crick, 1953), est conforme aux images de spectroscopie : « *les documents obtenu par rayons X publiés antérieurement sont insuffisants pour vérifier rigoureusement* » (Watson & Crick, 1953, traduction dans Watson, 1984) ; mais surtout, en proposant un appariement des bases (adénine avec thymine, guanine avec cytosine), il permet de rendre compte des fonctions biologiques fondamentales de cette molécule : « *Il n'a pas échappé à notre attention que l'appariement spécifique des bases que nous avons proposé suggère immédiatement un mécanisme possible de transcription pour la matériel génétique* », concluent Watson et Crick dans ce même article (ibidem).

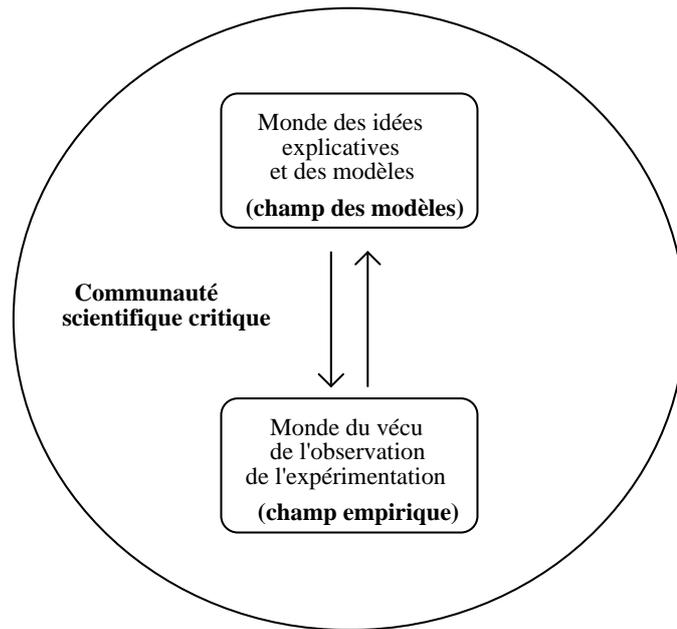


**Figure 1**  
**Trois modèles d'ADN construits par Watson et Crick**

(C'est le troisième qui sera finalement retenu)

On aurait pu choisir d'autres exemples en biologie moléculaire, comme l'opéron lactose de Jacob et Monod (Jacob, 1987) ou les modèles allostériques de Changeux et Monod. La modélisation biologique a pris également une grande importance dans l'étude des écosystèmes et en physiologie, sous forme de modélisations à compartiments notamment (voir par exemple Magot & Champarneau, 1989 ; Pavé, 1994).

Dans tous les cas il s'agit « *d'articuler ce qu'on observe sur ce qu'on imagine* » (Jacob, 1981). On peut ainsi définir l'activité scientifique par un schéma où la modélisation a toute sa place (figure 2).



**Figure 2**  
**Un schéma de l'activité scientifique**

Ainsi présentée, la modélisation n'est pas réduite à une méthode particulière propre à certains domaines de la biologie ou de la géologie, comme pourrait le laisser penser la lecture des programmes d'enseignement français : c'est une activité fondamentale de toute investigation scientifique. Cela plaide pour une place importante de la modélisation dans la classe de biologie. Est-ce possible ?

### 3. Les élèves modélisent-ils en classe de biologie ?

Nous avons vu que, même si les modèles sont présents dans les programmes du secondaire de SVT, ils n'y occupent pas la place que l'histoire et l'épistémologie des sciences leur donne dans l'activité scientifique. Que penser alors de la modélisation en biologie à l'école élémentaire ? Pourtant, les élèves de cette école peuvent modéliser ; et ils le doivent, s'il s'agit bien de leur faire faire des sciences. Mais cela n'est possible qu'en dépassant quelques idées naïves qui accompagnent la ritualisation de la « prise des représentations » et en prenant « *les conceptions des élèves comme base explicite d'un processus de modélisation* » (Johsua & Dupin, 1993).

Soit une classe de cycle 3 qui travaille sur la nutrition<sup>1</sup> humaine. Dans un premier temps, l'enseignant demande aux élèves d'expliquer à quoi ça sert de manger. Un travail individuel, sur cahier de brouillon, est complété par une réflexion en groupes et une mise en commun. La classe retient que manger sert à faire grandir, donner des forces à tout le corps et, plus généralement, à vivre. Le maître propose alors de s'intéresser à l'une de ces propositions et de tenter d'expliquer « *Comment ce que j'ai mangé peut-il me donner des forces?* ». Cette fois encore un travail individuel est suivi d'un travail de groupes qui doivent produire texte et schéma. Les figures 3 et 4 présentent les productions de deux des groupes.

Texte de l'affiche :

« *Voilà ce que nous pensons :  
Le hamburger et les frites descendent dans un tuyau appelé l'œsophage vers l'estomac. Après, certaines nourritures descendent dans le tuyaux des excréments. Les autres partiront dans tuyaux vers les muscles* »

Texte de l'affiche :

« *La nourriture va dans la bouche passe par un tuyau qui mène à l'estomac  
L'estomac trie la mauvaise nourriture et la bonne nourriture. La mauvaise nourriture va dans l'intestin grêle qui passe dans le gros intestin qui devient du caca. La bonne nourriture va dans les ~~mus~~ muscle* »



**Figure 3**  
**Affiche du groupe 3**



**Figure 4**  
**Affiche du groupe 4**

Nous voulons insister sur le fait qu'un tel travail ne peut pas être simplement décrit par les termes pédagogiques de « prises de représentations » :

- il ne s'agit pas uniquement de savoir ce que les élèves « ont dans la tête », mais de les confronter à un vrai problème explicatif ; si, dans cet exemple, cela se fait plutôt en début de séquence, rien n'impose une telle règle ;

<sup>1</sup> Nous parlons de nutrition et non de digestion, qui n'est qu'une fonction périphérique de la nutrition. D'où les questions posées aux élèves qui ne se réduisent pas au devenir des aliments.

- devant ce problème explicatif, les élèves imaginent une explication qui prend en compte un certain nombre de faits qui leur semblent établis (entrée de la nourriture par la bouche, forme solide d'une partie de la nourriture, sortie des excréments, ...) et la fonction retenue pour la nutrition (donner des forces) ;
- pour cela ils s'inspirent à la fois de connaissances qu'ils ont sur le corps humain (existence d'un tube digestif, organes impliqués...) et de formes d'explication qu'ils maîtrisent plus ou moins (fonctionnement des tuyaux, par exemple).

Ce travail entre parfaitement dans le schéma de l'activité scientifique présenté plus haut (figure 2). On peut donc considérer qu'il s'agit de modélisation. Cette affirmation pourrait être discutée en mettant en avant qu'il n'y a pas d'utilisation explicite d'un formalisme. Il y a bien cependant des règles de construction de ces modèles : celle, par exemple, qui considère que, pour que la nourriture puisse donner des forces à un muscle, quelque chose de cette nourriture doit aller jusqu'au muscle. Ce point de vue est très fréquent à cet âge, mais il n'est pas général. Voici le cas d'une élève, d'une autre classe (CE2-CM1) qui s'intéressait aux relations entre nourriture et croissance :

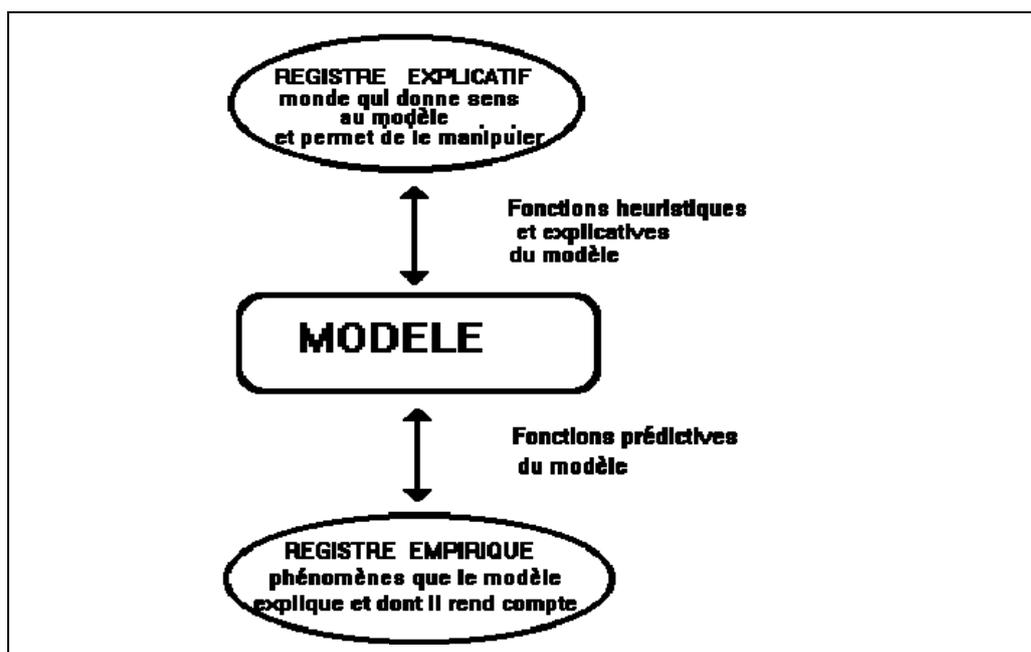
(1) Manuela: la pomme, on la mange, ça passe par des boyaux et après ça va dans une petite poche [...]  
 (2) Instituteur: ça sert à quoi cette poche? Qu'est ce que c'est?  
 (3) Manuela: ce qui reste dedans, c'est ce qui fait grandir.  
 (21) Manuela: la poche, elle grossit et elle grandit un peu par la nourriture. Et puis ça nous fait grandir, grossir. Et au bout d'un moment ça arrête de grandir, ça nous fait quand même grossir.

Seule dans sa classe, Manuela semble penser qu'il suffit que la nourriture soit stockée dans la poche (l'estomac ?) pour quelle fasse grandir (ou grossir) tout le corps. Cela pour illustrer le fait que, si les modélisations en biologie à l'école n'utilisent pas, au moins dans un premier temps, de formalismes précis, elles mettent bien en jeu ce que nous avons appelé un « registre explicatif » (Orange, 1994, 1997) qui les organise et leur donne sens. Dans le cas de la nutrition, et pour la plupart des élèves de cycle 3, ce registre explicatif est un monde mécanique de tuyaux, de broyeur etc. Pour d'autres, comme Manuela, c'est un monde où la nourriture a des propriétés qu'elle peut exercer sur le corps, tout le corps, à partir du moment où celui-ci l'a ingérée.

C'est ce genre de considérations, complété par une étude épistémologique de la modélisation en sciences, qui nous a conduit à proposer (1994) le schéma suivant (figure 5) pour la modélisation. Il reprend, en le complétant, le schéma de la modélisation proposé par Martinand (1992)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Martinand, par la suite, reprendra cette idée de troisième registre (1996), en discutant le terme de « registre explicatif » et en proposant à la place « matrice cognitive ». Cette dernière appellation ne nous semble pas assez rendre compte de la fonction épistémologique de ce registre. Quitte à généraliser, aussi bien reprendre le concept de « cadre épistémique » de Piaget (Piaget & Garcia, 1983).



**Figure 5**  
**Un schéma de la modélisation (Orange, 1994, 1997)**

Faire du travail des élèves sur un problème explicatif une modélisation et non une simple prise de représentations, c'est ne pas le cantonner à une activité préparatoire mais l'inclure totalement dans l'activité scientifique de la classe. Reste à discuter à quels savoirs cela peut conduire.

#### **4. Modéliser en classe, pour quoi faire ?**

Nous avons vu que la modélisation avait une place importante dans l'activité scientifique en SVT et que des élèves de l'école élémentaire pouvaient modéliser. Cela suffit-il pour faire de la modélisation est une activité didactiquement pertinente ? Quels savoirs sont visés ?

Les travaux en didactique des sciences autour de la modélisation ont été très vite reliés à la question du débat scientifique dans la classe (Johsua & Dupin, 1989) : il s'agit, par le débat, de permettre aux élèves de donner du sens au savoir et au maître de provoquer un changement conceptuel.

Se posent alors deux problèmes :

- d'une part, celui de la production par les élèves de modèles à la fois divers (pour qu'il y ait débat) et pas trop exotiques par rapport aux savoirs visés. La seconde condition ne revient pas à dire que les modèles produits au départ dans la classe doivent être scientifiquement corrects, mais que leur discussion permet d'avancer vers les savoirs visés. C'est pour tenir compte de cette condition que des analogies modélisantes (Johsua & Dupin, 1989) ou des « germes de modèles » (Chomat & al., 1992) sont introduits par le professeur qui viennent étayer la construction des modèles par les élèves.

- D'autre part, la validation des modèles produits. En sciences de la nature, les situations ne permettent que très rarement une validation par les élèves eux-mêmes, au sens où on l'entend dans les situations didactiques les plus pures. Des observations ou des expériences peuvent intervenir : elles permettent, à certaines conditions, de rejeter des modèles, mais jamais d'en valider au sens strict (voir K. Popper, le rejet de l'inductivisme et le concept de réfutabilité). D'où la nécessité d'apporter des documents divers qui permettent aux élèves de confronter les modèles de la classe à des modèles retenus par la culture scientifique.

Tout en faisant nôtres ces questions, nous ne voulons pas les développer davantage ici pour insister sur un troisième point, propre au cadre théorique de la problématisation (Fabre et Orange, 1997 ; Orange, 2002). Dans ce cadre, qui se réfère à Bachelard et Canguilhem notamment, les savoirs scientifiques ne sont pas seulement des savoirs plus performants que les savoirs communs ou que les idées initiales des élèves ; ils sont organisés par des raisons et ont une part de nécessité conférée par ces raisons. Le travail de modélisation et les débats qui se font autour des modèles proposés ont comme fonction importante la construction des raisons.

Reprenons l'exemple de la classe de cycle 3 qui travaille sur la nutrition. Les affiches (figures 3 et 4), que nous avons identifiées à des modèles, sont discutées au cours de la séance 2. Voici plusieurs interventions d'une élève, Auberi, qui concerne l'affiche 3 (les tours de parole supprimés entre ces quatre interventions sont peu significatifs ; Juliette appartient au groupe qui a produit l'affiche).

- 196 Auberi : Dans votre dessin, il y a quelque chose de bizarre parce que tu vois il y a un tuyau de l'oesophage et puis XXX Et puis il y a un truc qui va par là et l'autre par là. Mais on ne sait pas qu'est-ce qui va XXX exactement. On dirait que tout va d'un côté et XXX va de l'autre. C'est comme ça, ça fait bizarre. (Elle va au tableau près de l'affiche)
- 199 Auberi : (elle explique en montrant l'affiche) Vous avez tout dessiné mais c'est un peu bizarre parce qu'on croirait qu'ici ça va dans les muscles (montre le tuyau vers le bas) et là ... dans le muscle aussi (montre les tuyaux sur le côté).
- 201 Juliette : Là ça va dans les muscles (montre les tuyaux sur les côtés) et là ça va dans les ... (montre le tuyau vers le bas)
- 203 Auberi : (en retournant à sa place) On pourrait croire que dans les muscles que ça va partout.

L'argumentation d'Auberi porte sur le fait que, dans le schéma de l'affiche 3, la même chose (le contenu de la poche en triangle) semble aller aux muscles (tuyaux latéraux) et dans les excréments (tuyau vers le bas). Cela ne lui semble pas possible. La discussion continuera à se développer pendant plus de cent interventions où interviennent plusieurs élèves jusqu'à ce que l'un d'entre eux conclue : « *Elles ont oublié de dire que ça trie parce que sinon il y a de la mauvaise nourriture qui va dans les muscles* ».

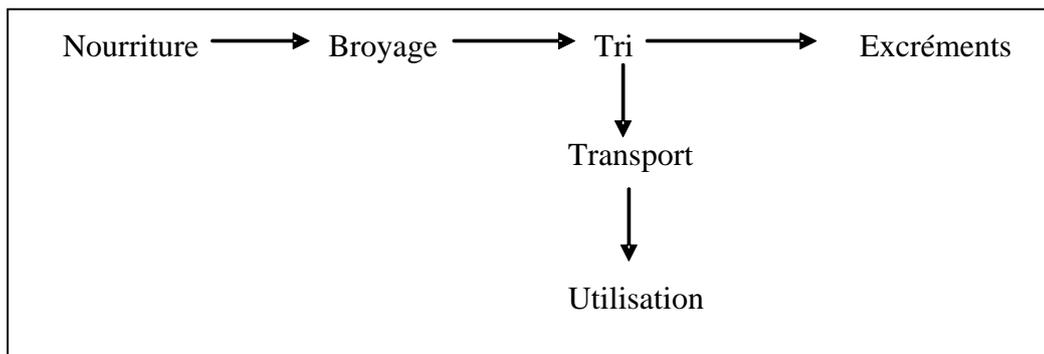
Non seulement la notion de tri est apparue dans le débat, mais ce tri est présenté comme nécessaire par les argumentations développées. Il devient ainsi une condition de possibilité des modèles. D'autres « nécessités » sont aussi discutées lors de ce débat, notamment celle de la distribution (nécessité que quelque chose venant de la nourriture aille dans tout le corps) et de la transformation (nécessité que les aliments soient

transformés). Ci-dessous, quelques échanges portant sur la nécessité d'une transformation.

- 300 Steven1 : Si tu regardes des excréments par rapport à de la nourriture, tu verras que ce sera pas...
- 301 Adrien : Ah, d'accord, je goûte les excréments...
- 302 M : Steven, qu'est-ce que ça prouve?
- 303 Steven1 : Ca prouve quand même que c'est l'estomac aussi qui broie tout. Après l'estomac il broie tout... Toutes les vitamines elles partent dans les muscles et puis après, ben, tout ce qui est mauvais ... dans l'estomac

Dans le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation, il ne s'agit pas de valider ou de rejeter telle ou telle idée explicative. Le cœur du travail ne se situe pas autour de la question de ce qui est vrai et de ce qui est faux, mais concerne le possible, l'impossible et le nécessaire. Modéliser consiste alors, dans une visée de construction de savoirs scientifiques, en une exploration et une délimitation du champ des possibles. Plus concrètement, le débat autour des modèles proposés dans cette classe de cycle 3 n'a pas pour but de se mettre d'accord sur tel ou tel modèle, mais de dégager des raisons, prenant ici la forme de nécessités fonctionnelles, qui sont autant de conditions de possibilité des modèles. Cette recherche de nécessités représente un changement de niveau dans les savoirs construits, une abstraction par rapport aux idées qui organise le travail de conceptualisation.

Cela ne demande pas, au moins pour l'instant, d'accord sur un modèle. A la fin du débat, certains optent encore pour une distribution par tuyaux nourriciers, d'autres par le sang ; des désaccords persistent sur les organes intervenant dans la transformation, etc. Mais le schéma suivant est élaboré par la classe, où la forme est proposée par le maître et le contenu défini par les élèves :



**Figure 6**  
**Organisation des nécessités fonctionnelles élaborée par la classe**

L'étape suivante du travail va consister à interpréter cette structure de nécessités fonctionnelles dans le cas de la nutrition humaine ; autrement dit à comprendre comment chacune de ces nécessités est réalisée.

Pour cela, lors de la séance suivante, le maître propose à la classe le tableau ci-dessous :

|           | La transformation | Le tri | Le transport | L'utilisation |
|-----------|-------------------|--------|--------------|---------------|
| OU ?      |                   |        |              |               |
| COMMENT ? |                   |        |              |               |

Pour remplir ce tableau, on peut recourir à différents moyens : investigations empiriques (observations, expériences), recherche documentaire etc. Compte tenu du faible caractère informatif des observations classiques (dissection notamment), c'est le recours aux documents qui a été privilégié dans cette séquence. Les élèves ont travaillé par groupes sur des documents différents d'un groupe à l'autre. Lors de la mise en commun des conflits d'interprétation sont apparus qui montrent toute l'importance et la difficulté d'un tel travail. Une fois l'accord fait sur le tableau rempli, il reste encore à le traduire en un modèle sous forme de schémas et de texte.

### Conclusion

Le point de vue que nous venons de développer et d'illustrer donne à la modélisation une place centrale dans les apprentissages en SVT. Non pas avec l'idée que les élèves pourraient, par eux-mêmes, construire des modèles pertinents scientifiquement, mais parce que le travail critique sur les modèles qu'ils proposent est le moyen d'identifier des nécessités qui organisent les savoirs scientifiques. En ce sens la modélisation ne s'oppose pas, bien au contraire, aux investigations empiriques ou documentaires. Ce n'est donc pas un travail de modélisation en terme de vrai et de faux, ou de validé et non-validé qui est mis ici en avant, mais une exploration des possibles : la modélisation y est au service de la problématisation, et non l'inverse.

## Bibliographie

- Bachelard, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles in Delattre, P. & Thellier, M. (éd.). *Elaboration et justification des modèles*. Paris : Maloine.
- Canguilhem, G. (1983). Modèles et analogies dans la découverte en biologie in *Etude l'histoire et d'épistémologie des sciences*. Paris : Vrin (prem. édition: 1968).
- Chomat, A., Larcher, C. & Méheut, M. (1992). Modèle particulière et démarches de modélisation in *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Duhem, P. (1914). *La théorie physique, son objet - sa structure*. Paris : Chevalier & Rivière (fac-similé 1989, Paris, Vrin).
- Fabre, M. & Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *ASTER*, 24, 28-38.
- Jacob, F. (1981). *Le jeu des possibles*. Paris : Fayard.
- Jacob, F. (1987). *La statue intérieure*. Paris : Odile Jacob.
- Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le "débat scientifique" dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang.
- Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : P.U.F.
- Magot, T. & Champarneau G. (1989). *La modélisation des métabolismes*. Paris : Masson.
- Martinand, J.-L. (1992). Présentation in *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Mayr, E. (1989). *Histoire de la biologie*. Paris : Fayard.
- Orange, C. (1994). *Intérêt de la modélisation pour la définition de savoirs opérants en biologie-géologie; l'exemple de la modélisation compartimentale*. Mémoire de doctorat de didactique des disciplines, Université de Paris 7.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie; quels apprentissages pour le lycée?* Paris : P.U.F.
- Orange, C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les Sciences de l'éducation, pour l'ère nouvelle*. 35, 1, 25-42
- Pavé, A. (1994). *Modélisation en biologie et en écologie*. Lyon : Aléas.
- Piaget, J. & Garcia, R. (1983). *Psychogénèse et histoire des sciences*. Paris : Flammarion.
- Watson, J. D. & Crick, F. H. C. (1953). A structure for desoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171, 737-738
- Watson, J. D. (1984). *La double hélice*. Paris : Laffont.