

Éric Sanchez

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE
LABORATOIRE D'ÉTUDES DU PHÉNOMÈNE SCIENTIFIQUE – UNIVERSITÉ DE LYON

*Quels types d'outils sont à la disposition
des enseignants en SVT ?*

Quels usages ces derniers en font-ils en classe ?

Quels sont les enjeux et les limites de ces usages ?

seront utilisés de deux manières : confrontés aux températures effectivement relevées, ils permettent de juger de la pertinence du modèle qui a été élaboré et de décrire son domaine de validité ; ils permettent aussi de faire des prévisions. Il s'agit alors de prévoir le comportement du système modélisé. La simulation permet ainsi l'anticipation, la gestion prévisionnelle et la prise de décision. Les modèles du groupe international d'experts sur le climat (GIEC) qui permettent d'établir des prévisions sur les conséquences du dérèglement climatique sur la biosphère et les systèmes socio-économiques en sont des exemples largement médiatisés.

Modélisation et simulation sont des pratiques de chercheur ou d'ingénieur aujourd'hui devenues communes dans l'enseignement scientifique (Linn 2003). Ainsi, l'offre de logiciels de modélisation et de simulation destinés à l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre au collège et au lycée est abondante. Voici quelques éléments de réponse à certaines questions que suscite leur usage en classe.

Des pratiques de chercheur et d'ingénieur

De nombreux auteurs s'accordent pour considérer que faire des sciences expérimentales, c'est mettre en relation des idées théoriques et des faits d'observation ou d'expérience dans le cadre de la résolution d'un problème (Bunge 1975). Pourtant, cette mise en relation n'est pas directe. Elle se fait par l'intermédiaire de modèles conceptuels construits par les chercheurs. Ces modèles sont alors des outils de connaissance qui permettent d'interpréter le réel. Les modèles conceptuels peuvent parfois conduire à la réalisation de modèles analogiques (des maquettes) ou numériques (des logiciels). Les modèles numériques sont conçus en implémentant un certain nombre de contraintes et de propriétés du modèle de référence qui se traduisent par des règles de fonctionnement de l'application.

Selon ce point de vue, la simulation apparaît comme un processus qui produit des résultats à partir du fonctionnement d'un modèle. En conséquence, un modèle numérique du cycle du carbone servira pour simuler l'évolution de la température du globe. Ces résultats

Modéliser et simuler pour visualiser et comprendre

En biologie comme en sciences de la Terre, la compréhension de certains objets ou phénomènes est rendue difficile du fait des échelles de temps ou d'espace impliquées. La réalisation de modèles numériques permet de produire des objets manipulables à l'écran. La possibilité donnée à l'élève de visualiser et de manipuler ces objets l'aide à surmonter certaines difficultés de compréhension liées aux dimensions spatiale ou temporelle des phénomènes et des objets étudiés. Avec les fonctions Retour arrière et Arrêt sur image, il visualisera un instant donné ; avec les fonctions Ralenti ou Accélééré, il dilatera ou contractera le temps dans les phénomènes trop rapides ou trop lents pour être observés directement ; avec la fonction Zoom il étudiera ces phénomènes à différentes échelles.

Les exemples de telles pratiques en classe sont nombreux. L'utilisation de logiciels de visualisation tridimensionnelle de molécules est très répandue. Rastop¹ permet d'afficher différentes représentations tridimensionnelles d'une même molécule et d'effectuer certains traitements sur cette molécule. Le site SVT de l'académie de Nantes donne quelques exemples de pratiques en classe : sélectionner un brin ou un nucléotide d'une chaîne d'ADN et lui attribuer une couleur pour le mettre en évidence, effectuer une coupe dans un complexe enzymatique pour montrer la complémentarité entre le site actif de l'enzyme et son substrat ou comparer différentes molécules. Avec la *Librairie de molécules*² chaque enseignant téléchargera les fichiers qu'il souhaite utiliser.

1. <http://www.inrp.fr/Acces/biotic/rastop/>

2. <http://librairiedemolecules.education.fr/>

3. <http://www.starfield-screen-saver.com/quake.html>

4. http://svt.ac-dijon.fr/logisvt/article.php?id_article=12

5. http://www.ac-grenoble.fr/svt/old_site/logiciel/neuro/neuro_corps.htm

6. http://svt.ac-dijon.fr/logisvt/article.php?id_article=46

7. http://svt.ac-dijon.fr/logisvt/article.php?id_article=21

8. <http://www.cndp.fr/svt/magma>

DANS L'ENSEIGNEMENT ET DE LA TERRE

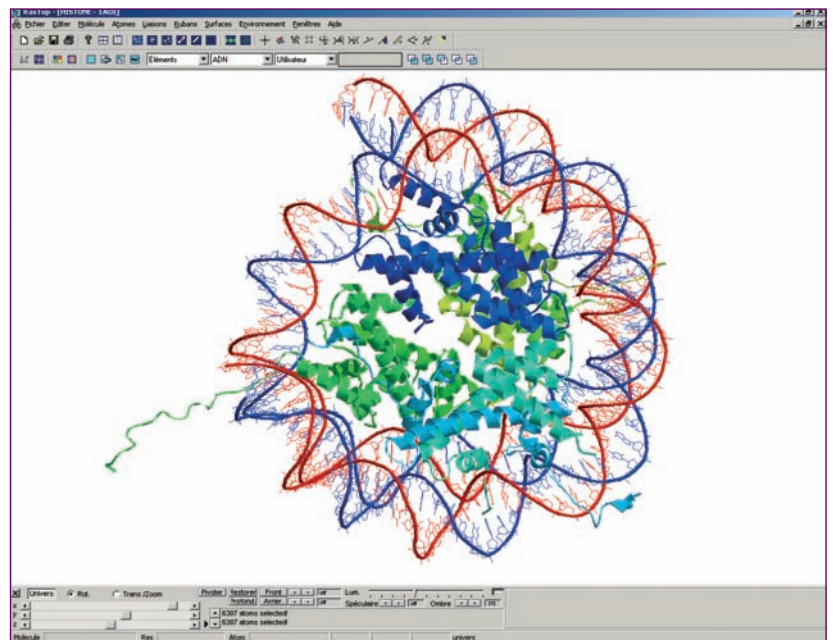
En sciences de la Terre, du fait de la complexité spatiale des objets étudiés, il existe également de nombreux environnements pour la simulation des phénomènes géologiques. Le logiciel Earthquake3D³ permet ainsi de visualiser les séismes survenus dans les derniers huit jours sur l'ensemble du globe.

Simuler pour expérimenter

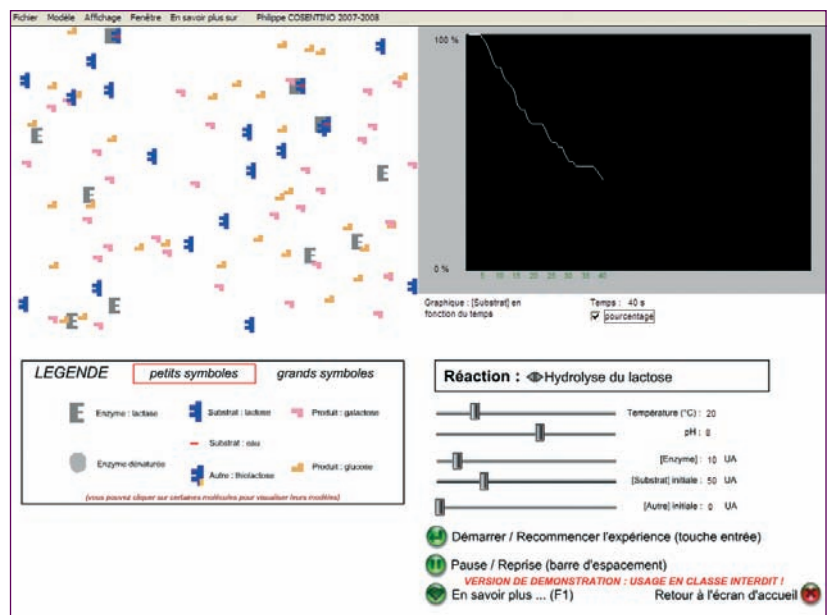
Un autre usage très répandu de la simulation en classe concerne l'emploi de logiciels permettant de simuler des expérimentations qui ne sont pas réalisables dans un contexte scolaire pour des raisons d'éthique, de temps, de coût ou de disponibilité en matériel. Il s'agit alors d'activités conduisant à expérimenter avec un modèle et à en explorer les différentes possibilités. Le logiciel Diastase de Philippe Cosentino est une réalisation aboutie de ce type de logiciel. Il permet de simuler l'influence de paramètres physico-chimiques sur la vitesse des réactions enzymatiques. Il est ainsi possible de modifier les concentrations en enzyme et substrat, la température ou le pH et de visualiser les conséquences des choix effectués d'une part sur un graphique indiquant l'évolution de la réaction et d'autre part sur une animation qui représente les différentes molécules impliquées.

De nombreux thèmes peuvent être abordés avec des logiciels du même type. Il est, par exemple, possible de simuler les expériences de physiologie qui permettent de mettre en évidence les propriétés du potentiel d'action aux niveaux cellulaire et moléculaire. L'offre logicielle est abondante : *Du canal ionique au potentiel d'action*⁴ (Micarelec), *Récepteur, Neurone Synapse*⁵ (François Tilquin), *Neurophysio*⁶ (Pierron). Dans un autre domaine, le logiciel *Cycles sexuels des Mammifères*⁷ (CNDP) permet à l'élève de formuler des hypothèses sur les mécanismes impliqués dans la régulation des cycles et de sélectionner les expériences afin de les éprouver.

En géologie, les domaines couverts sont moins nombreux et concernent principalement les aspects de la discipline concernés par l'expérimentation de laboratoire. *Magma*⁸ (CNDP) est un logiciel de simulation des expériences de pétrologie expérimentale. En fonction d'un choix de paramètres physico-chimiques effectués par l'utilisateur le logiciel indique la composition minéralo-



Visualisation de modèles moléculaires avec Rastop.



Simulation de catalyse enzymatique avec Diastase.



Modélisation/simulation avec Vensim.

gique de la roche formée par la cristallisation du magma. Dans un autre registre, Chronocoupe (Sanchez 2003) est un logiciel qui permet de réaliser des coupes géologiques et de travailler sur les principes de chronologie relative.

Certaines simulations s'apparentent à de véritables jeux et sont parfois présentées comme tels. Ecoville, disponible sur le site de l'ADEME, est un environnement informatique en ligne qui permet à l'utilisateur de « construire » une ville et de prendre conscience des conséquences environnementales de ses choix d'aménagement.

Tous ces logiciels sont fondés sur l'implémentation d'un modèle biologique ou géologique dont les règles de fonctionnement ne sont pas explicites et auquel les élèves n'ont pas accès. Néanmoins, l'interface leur permet de choisir certains paramètres et de constater les conséquences de leurs choix sur le fonctionnement du modèle. Il est alors attendu qu'ils soient en mesure d'inférer les propriétés du modèle à partir des événements générés à l'interface.

Des pratiques en classe : modéliser et simuler pour investiguer

Le travail sur les effets des émissions anthropiques de carbone sur le climat qui a été initié par Jacques Barrère (Barrère, Prieur *et al.* 2007) est aujourd'hui poursuivi par une équipe INRP dans le cadre de l'expérimentation d'un enseignement scientifique intégré en classe de seconde. Il est demandé aux élèves de modéliser le cycle du carbone à l'aide d'un logiciel de modélisation compartimentale (Vensim) et de juger de la pertinence du modèle réalisé en comparant les résultats simulés avec des données issues d'expérimentations en classe ou de banques de données mondiales. Dans un premier temps, les élèves modélisent les échanges de carbone de manière très élémentaire : un flux anthropique et un

réservoir (l'atmosphère). Les résultats de la simulation avec ce modèle indiquent alors un accroissement de la teneur en dioxyde de carbone de l'atmosphère bien supérieure aux données de terrain. Les élèves sont donc conduits à réviser leur modèle initial pour qu'il permette de mieux rendre compte de ces données et l'hypothèse d'un « puits » de carbone est vérifiée par un travail expérimental.

La situation présentée ici est originale et se distingue des exemples précédents dans la mesure où le modèle qui est utilisé par les élèves est explicite et résulte de choix effectués par les élèves. Les technologies ne viennent pas pallier les difficultés à travailler sur un réel inaccessible mais rendent possibles des allers et retours entre la modélisation théorique d'un phénomène et les résultats d'investigations empiriques. En ce sens, la démarche suivie s'apparente à celle du chercheur.

Vers une typologie des logiciels : animations, logiciels de simulation, logiciels de modélisation

Les différents exemples mentionnés ici ne représentent qu'une petite partie d'une offre très large de logiciels au riche potentiel pédagogique. Face à cette offre pléthorique, une typologie utile à l'enseignant pourrait être fondée sur le niveau d'explicitation du modèle implémenté dans le logiciel et le niveau d'interactivité offert à l'utilisateur. Elle distinguerait les animations qui se caractérisent par leur faible niveau d'interactivité. Une animation ne laisse que peu de degré de liberté à son utilisateur qui n'accède qu'aux événements générés à l'interface. Si un logiciel de simulation est également fondé sur un modèle implicite auquel l'utilisateur n'a pas accès, il lui est néanmoins possible de « jouer » avec la simulation dont le comportement dépend du choix de certains paramètres. Quant aux logiciels de modélisation, ils permettent d'élaborer le modèle qui sera utilisé pour les simulations. Ce modèle est explicite dans la mesure où les règles ont été déclarées par l'élève.

Risques, enjeux et limites de l'usage de la simulation et de la modélisation

La crainte est parfois exprimée que l'utilisation de l'ordinateur en classe ne conduise les enseignants à délaisser l'étude du réel pour lui substituer un travail sur ordinateur basé sur l'emploi de simulations (Brezin 2007). Biologie et géologie sont en effet des disciplines expérimentales fondées sur une argumentation qui accorde une grande importance aux données empiriques et conduire un raisonnement basé sur les résultats de simulations n'aurait guère de sens. Apprendre avec un logiciel de simulation, c'est apprendre les règles du modèle qui permet de générer les événements simulés. Par nature, ce modèle résulte de choix du concepteur. Il y a donc le risque d'enseigner un modèle élémentaire décontextualisé

Bibliographie

- Barrère, J., M. Prieur, *et al.* (2007). *Démarches et outils pour traiter une question d'actualité scientifique au lycée : le réchauffement climatique*. XXVIII^e JIES, Chamonix.
- Brezin, E. (2007). « Installer un enseignement qui fasse place à l'observation ». *Le Monde*, 5 décembre 2007.
- Bunge, M. (1975). *Philosophie de la physique*. Paris, Éditions du Seuil.
- Linn, M. C. (2003). « Technology and science education: starting points, research programs and trends ». *International Journal of Science Education* 25(6): 727-758.
- Sanchez, E. (2003). « Chronocoupe: un logiciel pour l'apprentissage du raisonnement diachronique en sciences de la Terre. *Ignorances et questionnements* ». A. Giordan, J.-L. Martinand and D. Raichvarg. Chamonix, Actes JIES.

plutôt qu'une réalité riche et complexe. Il y a également un risque de dérive : l'apprentissage de règles qui n'ont pas de sens lorsqu'elles sont employées en dehors du domaine de validité du modèle ou de points de vue idéologiques qui ont été introduits par le concepteur.

Une autre limite à l'usage de la simulation porte sur la question de l'implicite des codes employés pour construire les interfaces. Les images peuvent ne pas avoir la même signification pour le professeur qui connaît la sémiologie employée, et l'élève qui n'a pas nécessairement accès à cette sémiologie. L'usage de la simulation doit donc s'accompagner d'un travail de décodage car l'illusion qu'il suffit de donner à voir pour faire comprendre peut conduire à ce que les élèves interprètent mal les images qui leur sont proposées.

Dans le cadre d'un usage raisonné, les outils de modélisation et de simulation en classe recèlent un potentiel éducatif intéressant dans la mesure où ils permettent de favoriser l'implication des élèves dans une démarche d'investigation. La possibilité donnée aux élèves d'utiliser l'ordinateur pour modéliser un système biologique ou géologique et de confronter, par la simulation, ce modèle aux résultats de leurs investigations empiriques nous semble donc de nature à faciliter leur engagement dans la résolution d'un problème scientifique. Par ailleurs, du point de vue de

leur formation scientifique, il est important que le processus de construction des connaissances scientifiques soit vécu par les élèves comme une démarche fondée sur la confrontation argumentée d'idées que les scientifiques ont sur le monde avec les données qu'il est possible de recueillir. Imposer un « modèle solution » plutôt qu'un « modèle outil » conduirait à tomber dans le piège du dogmatisme. Ce sont alors les rapports aux savoirs biologiques et géologiques eux-mêmes qui sont modifiés car les rôles de producteur et de consommateur d'information sont confondus.

Il paraît également nécessaire de s'interroger sur l'impact des usages de la modélisation et de la simulation sur la culture numérique des adolescents. Les adolescents baignent dans un bain technologique depuis leur naissance et on utilise parfois l'expression *digital native* pour les qualifier et souligner qu'ils ont une certaine aisance dans l'utilisation des technologies numériques. Pourtant, cette aisance masque le fait que les usages de ces technologies ne sont pas toujours réfléchis. Les frontières entre réel et virtuel sont floues et le réalisme des interfaces vient ajouter à cette confusion. L'emploi de la modélisation et de la simulation de manière raisonnée en classe nous semble de nature à aider les élèves à mieux identifier ces frontières, à distinguer ce qui relève des choix du concepteur d'un modèle de la réalité dont il tente de rendre compte. Il s'agit également d'aider les élèves à comprendre les relations qui articulent ces deux dimensions. ●