

## **DES LOGICIELS DE RECHERCHE POUR RENOUVELER LES ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES EN SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE**

Naoum Salamé (salame@inrp.fr) et Dominique Lenne (lenne@inrp.fr)  
INRP, Département Technologies nouvelles et éducation  
91, rue Gabriel Péri, 92120 MONTROUGE

Nous sommes engagés depuis plusieurs années dans la réalisation d'un programme de recherche qui concrétise des orientations à long terme préparées avec l'Inspection générale des sciences de la vie et de la Terre. Ce programme prévoit l'exploration des renouvellements possibles dans des domaines centraux des programmes enseignés, à l'aide des outils informatiques, et la constitution de banques de données pédagogiques accessibles au travers les réseaux de communication.

Les deux premières étapes de ce programme ont déjà été franchies, la troisième étant en cours : mise en évidence d'applications de l'informatique utilisées dans la recherche et adaptables pour l'enseignement ; définition et mise en oeuvre d'une démarche d'élaboration d'ensembles pédagogiques et d'une méthode de transfert ; conception d'un serveur disciplinaire proposant les instruments élaborés dans le cadre du programme et ouvrant de nouvelles perspectives.

### **1. LA DISPONIBILITÉ D'APPLICATIONS ADAPTABLES POUR L'ENSEIGNEMENT**

Dans plusieurs domaines de la biologie et de la géologie, les activités scientifiques réalisables par les élèves avec les moyens classiques, sont limitées dans certains cas par la nature des connaissances enseignées ou l'inaccessibilité des phénomènes à étudier, dans d'autres par la complexité et le coût de l'instrumentation nécessaire. Ces limitations sont également dues aux difficultés méthodologiques ou réglementaires que soulève la réalisation d'expériences réelles.

L'informatique est largement utilisée dans la recherche et l'industrie comme instrument de l'investigation scientifique. On a donc émis l'hypothèse que la référence à ces utilisations pratiques pourrait renouveler les approches dans certains domaines en apportant des activités adaptées à l'enseignement des connaissances actuelles. Des explorations ont ainsi été entreprises d'abord dans quelques domaines qui occupent une place importante dans les programmes mais dont l'enseignement est problématique sur le plan des activités proposées aux élèves : génétique moléculaire, géophysique, hydrogéologie, gestion des ressources animales et végétales.

Les contacts établis avec les laboratoires de recherche et l'industrie spécialisés dans ces domaines ont montré la disponibilité de banques de données importantes, de logiciels de visualisation, d'analyse, de modélisation et de prise de décision, qui se rapportent à des questions abordées avec les élèves dans le cadre de l'enseignement. Certains de ces logiciels se présentent comme des modules conçus pour des usages internes à un laboratoire ou mis au point dans le cadre d'une thèse. D'autres, constituent des réalisations plus achevées disposant souvent d'interfaces évoluées. Riches en fonctionnalités, ils paraissent potentiellement porteurs d'activités nouvelles. Plusieurs de ces logiciels sont mis gratuitement à la disposition des autres chercheurs et de ce fait accessibles pour l'éducation.

Les données et les traitements utiles au chercheur sont évidemment en rapport avec les questions de recherche. Il est donc impossible de procéder par simple translation des outils, du

laboratoire de recherche à la salle de classe. La simplicité des traitements appliqués et la qualité des visualisations graphiques qui leur sont associées conditionnent l'autonomie qui peut être laissée aux élèves pour conduire des investigations et résoudre des problèmes avec ces outils. Aussi, pour envisager les transferts ultérieurs, on a souligné l'intérêt des logiciels présentant ces caractéristiques et qui sont en outre ouverts sur des ensembles variés de données permettant d'aborder des familles de questions.

Un colloque en 1991 [1] et une publication de synthèse en 1992 [2], ont été consacrés aux potentialités de ces logiciels identifiés et analysés dans la première étape du programme.

## **2. L'ADAPTATION ET LE TRANSFERT D'APPLICATIONS DE LA RECHERCHE À L'ENSEIGNEMENT**

Tenant compte des programmes enseignés et des instruments identifiés, on a choisi dans la deuxième étape d'accorder la priorité à l'enseignement de l'hydrologie en classe de Seconde, de la géodynamique interne du globe en classe de Première, de la génétique moléculaire en Première et en Terminale.

Certains des logiciels disponibles présentent des caractéristiques suffisantes pour être adoptés sans modifications notables. D'autres se prêtent mal à une adaptation pour des raisons de complexité ou de droits. On a donc réalisé avec l'aide de laboratoires de recherche et d'organismes professionnels (École nationale supérieure de géologie de Nancy et Électricité de France en hydrogéologie ; laboratoires de géologie de l'Université de Montpellier et de l'École normale supérieure de Paris en géophysique ; Laboratoire de biologie cellulaire de l'université d'Orsay et Muséum national d'histoire naturelle pour l'évolution des espèces) de nouveaux logiciels destinés à l'enseignement mais intégrant les algorithmes mis au point par les chercheurs.

Qu'elles soient puisées dans les logiciels disponibles ou reconstruites à partir des approches des chercheurs, les applications retenues introduisent dans l'enseignement des connaissances relativement récentes. Le transfert ne peut donc se limiter à la mise à disposition d'instruments. La démarche globale de transfert définie inclut la réalisation d'ensembles de données centrés sur des contenus majeurs dans les programmes enseignés et de documents d'accompagnement destinés aux enseignants, l'expérimentation des ensembles dans les stages de formation et en situation de classe, le suivi des transferts sur le terrain. Les propositions détaillées d'activités possibles prennent en considération les différents cadres d'enseignement (tronc commun, options, spécialité) dans lesquels on peut viser des niveaux différents d'autonomie des élèves et d'approfondissement des thèmes étudiés.

On dispose actuellement d'un groupe de ressources publiées et d'un autre en cours d'achèvement.

### **A - Ressources publiées**

#### ***- Dynamique des nappes d'eau***

En collaboration avec EDF (Mission mécénat technologique et scientifique) et avec le Laboratoire d'hydrogéologie de l'université de Nancy, deux logiciels sont réalisés. L'un (*ECONAPPE*) porte sur la connaissance des facteurs qui entraînent des variations du niveau des nappes d'eau, la modélisation des relations entre ces facteurs, l'exploitation industrielle ou agricole des nappes d'eau ; il utilise les données météorologiques, géologiques et hydrologiques réunies par EDF entre 1974 et 1978 sur le site d'Allevard dans les Alpes. L'autre (*HYDRONAPPE*) concerne la protection qualitative des nappes d'eau et les problèmes

d'aménagement et de sécurité que pose la circulation de l'eau sous un barrage. Les données sont issues travaux d'aménagement liés à la construction d'une autoroute passant par Loisy en Moselle, ainsi que des études préalables à la construction du barrage de Bissorte dans les Alpes [3].

#### **- Génétique moléculaire**

Un premier logiciel provenant de l'Université du Kansas (*SEQAIDII*) et comportant les traitements les plus courants des séquences de gènes et de protéines, a été traduit et adapté en relation avec les auteurs, puis diffusé dans tous les établissements avec le soutien de la Direction des lycées. Ensuite, un nouveau logiciel (*ANAGENE*) conçu avec le CNDP, a élargi les traitements disponibles et y a ajouté des fonctionnalités pédagogiques. A l'aide d'une banque de plusieurs centaines de séquences réunies spécialement pour l'enseignement, ces deux logiciels permettent d'étudier cinq grands thèmes en première et en terminale : les mécanismes de base qui régissent l'expression de l'information génétique, les relations entre génotype et phénotype, le polymorphisme des gènes, les mécanismes de complexification du génome au cours de l'évolution, la transmission héréditaire des maladies génétiques [4, 5, 6].

#### **- Relations entre structure et fonction des molécules**

Largement utilisé par les chercheurs et les enseignants, le logiciel *RASMOL* a été traduit en français avec l'autorisation de l'auteur (Roger Sayle, Glaxo-Wellcome Research and Development Group). Les propositions pédagogiques mises au point s'appuient sur les données issues de la banque internationale Protein Data Bank, extraites avec l'aide de l'Unité ingénierie des protéines de l'INRA. Elles sont destinées à l'étude des molécules qui portent l'information génétique (ADN et ARNm), de la structure d'une protéine, des rapports entre la structure et la fonction de plusieurs complexes (antigène-anticorps, HLA-peptide étranger, enzyme-substrat), des conséquences d'une mutation dans la séquence d'un gène (la drépanocytose), et enfin de la conservation des structures au cours de l'évolution des organismes (les globines) [7].

#### **- Modélisations en géophysique**

Construit à partir des fonctionnalités des logiciels professionnels dans le domaine, et intégrant des algorithmes de modélisation écrits par des chercheurs (Université de Montpellier et ENS de Paris) le logiciel *GEOCEAN* permet de réaliser à partir de données topographiques, sismiques ou gravimétriques, des cartographies en deux dimensions et des blocs-diagrammes en trois dimensions, de montrer les hypocentres des séismes en trois dimensions ; de réaliser des profils suivant une direction, de modéliser de manière interactive la lithosphère dans une zone de subduction, ou ouverture océanique sur la base d'informations magnétiques.

Les données topographiques et gravimétriques proviennent du Bureau gravimétrique international à Toulouse ; les données sismiques de différents CDROM disponibles ; les données magnétiques ont été communiquées par les chercheurs (École normale supérieure et Université Paris VI). Une dizaine de régions peuvent être étudiées : les subduction du Japon, des Mariannes, de Tonga-Kermadec, de la Mer Égée, des Petites Antilles et des Andes, illustrant différents types de subductions ; des dorsales océaniques de l'Atlantique Nord (Sara), du pacifique (Fidji) et de la Mer Rouge. [8, 9]

## **B - Ressources en cours de constitution**

### **- Évolution**

Conçue en relation avec des chercheurs du Muséum national d'histoire naturelle, une approche active de l'évolution est proposée en partant des caractères biologiques, embryologiques, anatomiques et morphologiques pour construire en fin de compte la représentation des parentés sous la forme d'un arbre évolutif. Différentes activités (dont certaines peuvent être proposées dès le collège) sont possibles : l'observation de diverses espèces animales à partir de photographies, de schémas légendés et de textes ; la comparaison de taxons à partir des caractères qu'ils présentent ; des regroupements et des classifications ; la construction interactive d'arbres phylogénétiques ; la confrontation de phylogénies morphologiques et moléculaires [10].

### **- Immunologie**

Dans ce domaine particulièrement difficile, on étudie actuellement avec l'aide de chercheurs de l'Institut Pasteur, le suivi de populations cellulaires, grâce aux méthodes de fluorescence, dans un certain nombre de maladies impliquant les défenses immunitaires de l'organisme (cancer, greffes, Sida). Les données susceptibles d'être traitées par un logiciel spécialisé dans l'analyse des flux cellulaires (*WinMDI*), ont été communiquées par des chercheurs. Les démarches d'exploitation en classe sont en cours de test.

### **- Régulation de la pression artérielle**

L'approche est basée sur l'expérimentation assistée par ordinateur couplée avec des simulations. Cette recherche est conduite par une équipe associée dirigée par Daniel Richard, professeur à l'Université et à l'IUFM de Toulouse. Le dispositif d'acquisition expérimentale de mesures de la pression artérielle est conçu. Le schéma général englobant les différentes boucles de régulation de la pression artérielle est réalisé. La simulation de la régulation de la pression artérielle dans une de ces boucles et dans différentes situations d'activité du sujet est définie ; elle doit être complétée par l'étude de la régulation dans d'autres boucles.

### **- Relations biosphère-géosphère**

Deux thèmes sont explorés :

\* relations océan-atmosphère en s'appuyant sur une exploitation des données océanographiques issues de différents programmes internationaux. Ces données sont visualisées avec un logiciel de traitement (*Ocean Data View*) proposé par le Alfred Wegener Institute.

\* impact des activités humaines sur l'environnement avec les outils adaptés à une analyse des climats anciens : banques de données paléoclimatiques (calottes glaciaires, pollens, cernes des arbres, etc.) et logiciels de traitement et de visualisation graphique proposés sur les serveurs spécialisés en climatologie.

## **3 - UN SERVEUR DE RESSOURCES INFORMATIQUES**

La troisième phase de ce programme est en cours. Elle porte sur la mise en place des ressources issues de la recherche sur un serveur disciplinaire. Dédié aux applications de l'informatique dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre, ce serveur (*Biogéo* - adresse : <http://www.inrp.fr/Acces/Biogeo/accueil.htm>) présente déjà au téléchargement, les ressources achevées dans les phases antérieures (à l'exception de celles diffusées par le CNDP) et regroupe thématiquement logiciels, données et propositions pédagogiques. L'accès à ces ressources est accompagné d'orientations vers les sources originales des données (les

banques de données nationales ou internationales) et vers les autres sources d'informations complémentaires. Cette mise à disposition des ressources concernera ultérieurement les résultats enregistrés dans les domaines en cours d'exploration.

Les développements du serveur sont prévus dans quatre directions principales.

#### **- Proposition de ressources pour l'enseignement**

C'est la fonction de base du serveur. Les ressources sont issues exclusivement des travaux conduits à l'INRP. Sur la dizaine de domaines prévus, quatre sont actuellement opérationnels (génétique, relations structure-fonction, évolution, hydrogéologie), auxquels s'ajouteront progressivement les autres domaines en cours d'exploration. Chaque domaine est traité sur un plan strictement thématique : y sont proposés logiciels, données, documents, outils et adresses complémentaires en relation avec les contenus enseignés. Plus généralement, on trouve dans cette section du serveur un signalement des autres ressources informatiques pour l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre disponibles sur les autres serveurs éducatifs.

#### **- Constitution coopérative de ressources**

Cette orientation démarre avec quelques académies sur le thème de l'eau ; elle sera ouverte progressivement à d'autres thèmes et académies. Elle vise à étudier l'adéquation de cette forme de travail aux objectifs de la formation scientifique au lycée, à dégager une méthodologie et des domaines d'application. Pratiquement, il s'agit de mettre en place un réseau impliquant élèves, enseignants, chercheurs et professionnels, échangeant avec les moyens actuels de communication. Avec le soutien des techniciens et des scientifiques, enseignants et élèves sont appelés à recueillir des données auprès des organismes spécialisés ou sur le terrain, à les traiter et interpréter, à proposer leur agrégation à des données provenant d'autres régions, à construire progressivement une banque de ressources accessibles à tous.

#### **- Autoformation des enseignants**

La formation des enseignants aux outils et méthodes d'approche présentées sur le serveur *Biogéo* passe actuellement par les textes habituels. Dans un premier temps, il s'agit d'étudier des modalités plus démonstratives (mettant en oeuvre des visualisations dynamique) et plus interactives (passant par les échanges entre pairs). D'autres services seront ensuite envisagés en relation avec les besoins spécifiques d'autoformation des enseignants de biologie-géologie : cours et édition électronique en ligne, questions à des spécialistes, conférences électroniques suivies de forums, etc.

#### **- Éducation interactive**

Ce domaine s'adresse principalement aux chercheurs. Constitué de liens, il présente les actions lancées par des universités et des organismes scientifiques en direction de l'enseignement de la biologie et des sciences de la Terre, ainsi que dans d'autres disciplines scientifiques. Sont aussi référencées les sources documentaires capitalisant les publications de synthèse ou de prospective sur le travail interactif au travers des réseaux informatiques.

L'ensemble de ces perspectives a fait l'objet d'une présentation dans le cadre d'un colloque en 1997 [11].

#### 4 - RÉFÉRENCES.

- 1 - *L'informatique scientifique dans l'enseignement de la biologie et de la géologie*. Colloque INRP-ENS, 1991, 292 p.
- 2 - *Activités scientifiques informatisées : visualiser, analyser, modéliser*. INRP, 1992, 344 p.
- 3 - Haguénauer C. *Econappe, pour comprendre et prévoir les variations des nappes d'eau*. INRP, 1993. 78 p.
- 4 - Hervé J-C., Salamé N., Therrié B. *SeqaidII, analyse de séquences de gènes et de protéines*. INRP, 1994, 106 p.
- 5 - Hervé J-C., Salamé N., Therrié B. *SeqaidII, Thèmes d'étude en génétique humaine*. INRP 1995, 120 p.
- 6 - *Analyse de séquences génétiques avec le logiciel ANAGENE*, CNDP-INRP, 1997. 128 p.
- 7 - Barrère J., Dupont J-Y., Salamé N. *Structures et fonctions des molécules biologiques. Exploitations pédagogiques visualisation tridimensionnelle des molécules avec Rasmol*. INRP, 1997. 128 p.
- 8 - *GEOCEAN : modélisation d'une subduction*. Vol 1 : Le Japon. CNDP-INRP, 1996. 152 p.
- 9 - *GEOCEAN : modélisation d'une subduction*. Vol 2 : Andes, Antilles, Mer Égée, Mariannes, Tonga-Kermadec. CNDP-INRP, 1997. 132 p.
- 10 - Phylogène. Evolution.
- 11 - *Informatique et communications dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre*. Colloque ENS-INRP, 1997. 352 p.