



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE PÉDAGOGIQUE
Technologies nouvelles et éducation

Septembre 1998

CARACTÉRISATION ET ÉVALUATION DES ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES S'APPUYANT SUR L'UTILISATION DES OUTILS INFORMATIQUES

(Code 40 118)

Daniel Beaufils, Naoum Salamé

Rapport de synthèse

1. Contexte

1.1 Une place importante de l'informatique dans les programmes

Les programmes actuels des classes de lycée accordent une part significative à l'utilisation des outils informatiques dans l'enseignement des sciences expérimentales. Cette place résulte des expérimentations conduites dans les lycées en France depuis le début des années 80.

En sciences physiques, cette utilisation est fondée en grande partie sur la mise en œuvre de dispositifs d'expérimentation connectés à des ordinateurs à des fins de recueil de mesures, traitement, représentation graphique et modélisation mathématique. Mentionnées dans les programmes de physique - chimie des classes de lycée d'enseignement général, et donnant lieu à un sujet de montage spécifique au CAPES de physique - chimie (instauré pour la session de 1998), ces utilisations sont donc "institutionnalisées".

En sciences de la vie et de la Terre (SVT), les indications relatives à la place des outils informatiques figurent dans les instructions méthodologiques générales qui accompagnent les programmes, l'accent étant mis sur le renouvellement des activités expérimentales. La contribution possible de ces outils est précisée point par point dans les activités associées aux contenus et aux objectifs cognitifs de chaque classe, par exemple : expérimentation assistée par ordinateur (EXAO) en physiologie nerveuse, enzymologie, énergétique ; construction de modèles en hydrologie et en géologie ; simulations en physiologie nerveuse ; banques de données scientifiques en géologie, génétique, enseignement de l'évolution.

1.2 L'évaluation des activités pratiques au baccalauréat

Qu'elles s'appuient sur des dispositifs classiques ou sur des technologies nouvelles, les activités expérimentales ne sont pas encore évaluées en tant que telles dans les épreuves du baccalauréat. En 1995, un projet d'évaluation des capacités spécifiques attachées aux activités de laboratoire est annoncé, qui a donné lieu les deux années scolaires suivantes à des expérimentations conduites dans les académies sous l'autorité des inspections générales des disciplines. Au contact des expérimentateurs, on a relevé que les craintes d'un alourdissement des épreuves actuelles mises à part, ces expérimentations font ressortir des interrogations sur plusieurs plans :

- contenus : définition des compétences à évaluer ; légitimité de séparer contenus scientifiques et capacités pratiques (complémentarité des cours et des activités expérimentales) ; niveau d'abstraction d'une partie du programme de terminale en SVT ;
- organisation : niveau national, local ; épreuve unique, contrôle continu, dossier ; dispositifs techniques nécessaires dans les différentes configurations ;
- égalité des élèves devant l'évaluation : diversité de l'équipement des établissements, place plus ou moins grande des travaux pratiques suivant les enseignants.

En sciences physiques, l'évaluation des compétences expérimentales ou manipulatoires a été décidée pour le baccalauréat, l'inspection générale de physique notamment ayant contribué à sa mise en place effective dès 1998. En sciences de la vie et de la Terre, l'avenir de cette évaluation n'est pas encore précisé. L'évaluation des capacités liées à l'utilisation des nouvelles technologies par les élèves est retenue en sciences physiques mais reste discutée en SVT.

1.3 Des travaux antérieurs dans le domaine

Notre équipe a contribué à la conception et à l'expérimentation de nombreux environnements d'apprentissage spécifiques des disciplines scientifiques, ainsi qu'à l'exploration des apports possibles des outils et des méthodes issus des évolutions techniques : expérimentation assistée par ordinateur et images numériques en sciences physiques, banques de données scientifiques, modélisations et simulations en sciences de la vie et de la Terre. Elle a également participé à l'analyse des conséquences d'utilisations intensives des outils en sciences physiques, et contribue à la formation des enseignants dans les deux disciplines.

1.4 Un projet européen en parallèle : Labwork in Science Education (LSE)

Lancé en septembre 1996, le projet LSE a associé deux équipes en France (DIDASCO à Orsay, COAST à Lyon) et cinq autres équipes en Allemagne, Grande-Bretagne, Grèce, Italie, Danemark. Il a donné lieu à la réalisation de trois enquêtes (contextes nationaux de l'enseignement des disciplines expérimentales et place occupée par les travaux pratiques ; objectifs des travaux pratiques ; image de la science véhiculée par ces activités) et à une série d'études de cas. Notre participation à ce projet dans le cadre de l'équipe DIDASCO complète certains aspects de la présente recherche et bénéficie de certains de ses résultats. LSE traduit des interrogations sur l'enseignement des sciences en Europe et sur le rôle des travaux pratiques dans cet enseignement.

2. Problématique et orientations

L'utilité des environnements d'apprentissage utilisant l'informatique pour l'enseignement scientifique repose maintenant sur d'autres apports que l'attrait de la nouveauté et la motivation des élèves, ou sur la nécessaire maîtrise des techniques actuelles. Leur extension et leur reconnaissance institutionnelle indiquent que ces outils sont sortis de la phase exploratoire, les ordinateurs et leurs applications étant devenus progressivement une composante de l'instrumentation courante des laboratoires et salles de travaux pratiques, intégrée en fonction de besoins différenciés dans les disciplines concernées. Il n'en reste pas moins que le recours à ces outils est encore au mieux recommandé. Le nombre d'enseignants qui les utilisent pour la préparation de leurs cours ou comme des outils pédagogiques avec leurs élèves est de plus en plus important, mais leur maîtrise est loin d'être une exigence généralisée dans les concours de recrutement des enseignants et dans les examens.

Étant donné la place que les approches informatisées occupent maintenant, il a paru opportun de mesurer leur domaine d'extension effectif et leurs usages réels, d'identifier les

modifications qu'elles ont introduites dans les activités expérimentales ainsi que les savoirs et savoir-faire qu'elles impliquent, et de cerner ceux de ces savoirs qui deviennent raisonnablement évaluable au même titre que les autres apprentissages.

Bien qu'elle se déroule dans le contexte de l'expérimentation préparant l'évaluation des compétences pratiques au baccalauréat, cette recherche ne vise pas l'étude des conditions et des instruments d'une évaluation officielle. En particulier, les contenus pris en considération n'appartiennent pas nécessairement aux seuls programmes de la classe de terminale et ne se limitent pas aux compétences manipulatoires. Les situations pédagogiques expérimentées dans le cadre de la recherche ne sont pas forcément généralisables.

La démarche mise en œuvre consiste à :

- sélectionner et produire des applications pédagogiques de l'informatique dont l'élaboration a fait l'objet de contrôles scientifiques, pédagogiques et didactiques explicites ;
- décrire les activités scientifiques reposant sur l'utilisation de ces applications ;
- préciser les compétences techniques et scientifiques exigibles à différents niveaux ;
- choisir des situations de mise en œuvre favorables à leur évaluation.

3. Méthodes d'approche

Elles tiennent compte des usages prépondérants dans chacune des disciplines, qui montrent une plage de préoccupations communes et des intérêts spécifiques.

3.1 En sciences de la vie et de la Terre

En vue de déterminer l'extension des domaines d'application de l'informatique en SVT, on a procédé d'abord au recensement quasi exhaustif des réalisations actuelles, à leur analyse au moyen d'une grille adaptée à partir d'autres grilles utilisées dans les logithèques existantes, à leur classement en fonction des approches mises en œuvre.

Une enquête par questionnaire a été également réalisée dans les lycées de quatre académies pour mesurer le degré réel d'informatisation des établissements, la pénétration des équipements pédagogiques matériels et logiciels disponibles, leur usage réel avec les élèves.

Le croisement des types d'utilisation de l'informatique (EXAO, simulation-modélisation, traitement de données) avec les contenus enseignés au lycée nous a amenés à cerner parmi les possibles, plusieurs applications pouvant fournir des situations appropriées pour cette recherche, en enzymologie, géodynamique océanique, génétique moléculaire, dans les classes de Première et de Terminale.

Pour l'ensemble de ces applications, on a procédé à l'analyse des compétences techniques et cognitives requises des élèves, et pour chaque application à la définition d'une progression pédagogique possible pouvant servir de trame à une mise en œuvre par un enseignant expérimenté. Le déroulement de la plupart des séances réalisées avec les élèves a fait l'objet d'une analyse didactique par un observateur.

3.2 En sciences physiques

Pour caractériser les activités et identifier les compétences "informatiques" mises en jeu nous avons analysé des fiches de "travaux pratiques avec ordinateur" publiées par le ministère de l'Éducation nationale ou mises à disposition sur les serveurs.

Nous avons par ailleurs réalisé des observations de séances de travaux pratiques (enregistrées puis transcrites) dans des classes de Première et Terminale scientifique. Ainsi, pour chaque fiche ou séance de TP, nous avons essayé de répondre à des questions générales

sur les objectifs et sur la pertinence didactique de l'utilisation de l'ordinateur. Nous avons aussi analysé ces fiches et les séances observées dans le détail des activités demandées aux élèves.

De plus, nos hypothèses portaient sur la capacité des élèves à acquérir les savoirs et savoir-faire correspondant à un niveau d'enseignement donné. Le travail a donc également reposé sur l'élaboration de situations d'évaluation et leur passation auprès d'élèves ayant suivi un enseignement correspondant. Nous avons choisi de travailler sur une situation particulière : l'évaluation de savoirs et savoir-faire dans le cadre d'une épreuve *de type baccalauréat* en sciences physiques (que nous avons appliquée en Terminale et en Première scientifique).

Enfin, parmi les méthodes informatisées mises en avant dans l'utilisation de l'ordinateur au laboratoire de physique, figurent des optimisations de modèles qui reposent sur un traitement statistique des mesures. Nous avons donc fait un travail d'innovation didactiquement contrôlée proche de l'ingénierie didactique : élaboration, expérimentation, analyse, ajustement des progressions, articulant mathématiques et physique dans le cadre des programmes des classes de Première et Terminale S. L'évaluation des acquis des élèves a constitué un élément essentiel de notre étude. Cette évaluation a été opérée, d'une part, en cours de formation et, d'autre part, sous une forme plus sommative, à travers les "évaluations sur paillasse" et des entretiens ou questionnaires passés en fin d'année de Terminale S.

4. Résultats

4.1 En sciences de la vie et de la terre

4.1.1 Extension et typologie des applications disponibles

Dans le domaine de l'expérimentation assistée par ordinateur, les travaux pratiques réalisables dépendent des capteurs et des sondes disponibles et accessibles. Actuellement, une vingtaine de capteurs (oxymètres, pHmètres, thermomètres, hygromètres, spectrophotomètres, etc.) permettent de réaliser de nombreuses expériences en biologie animale (respiration, physiologie nerveuse, musculaire, cardiovasculaire), végétale (photosynthèse, respiration, absorption d'ions), biochimie (enzymologie, dosages biochimiques, spectres d'absorption) et écologie (nappes phréatiques, pollutions, radiométrie...) pour toutes les classes. L'évolution technologique a amélioré, élargi et renouvelé l'éventail des expériences possibles.

Deux types de logiciels d'acquisition et d'exploitation des mesures sont associés à ces capteurs, dont les avantages et inconvénients ont des conséquences sur la mise en œuvre pédagogique. Les logiciels "dédiés" à un phénomène particulier (la photosynthèse, la physiologie nerveuse, etc.) présentent tous les paramètres à mesurer avec les capteurs correspondants ainsi que les traitements graphiques adaptés, l'utilisateur ayant peu de décisions à prendre (durée, intervalle entre les mesures...). Les logiciels "généralistes" sont plus récents : un logiciel suffit pour l'étude de tous les phénomènes, à charge pour l'utilisateur de préciser la sonde utilisée, les paramètres à saisir, les traitements et visualisations souhaités.

Hors EXAO, les logiciels disponibles présentent une plus grande diversité encore. Le recensement réalisé en 1996-1997 révèle l'existence de plusieurs dizaines qui visent un grand nombre de chapitres des programmes enseignés. On a classé ces logiciels en quatre grandes catégories : simulation-modélisation, analyse de données, didacticiels, banques d'informations encyclopédiques. On peut observer qu'une partie importante de ces logiciels est destinée à la classe de terminale. Plusieurs d'entre eux constituent des outils qui instrumentent des

domaines pour lesquels les expériences avec des matériels classiques sont inexistantes : en génétique, évolution, hydrologie, géophysique, télédétection, etc.

4.1.2 Diffusion et utilisation des applications informatiques dans les lycées

Une enquête par questionnaire a été menée en 1997 dans les académies de Nantes, Orléans-Tours, Strasbourg et Versailles. Elle concerne l'équipement des établissements en ordinateurs, en chaînes de mesures pour l'EXAO et en logiciels pédagogiques. Sur les 240 lycées contactés dans ces académies (tous) 190 réponses ont été reçues. Elles montrent qu'en moyenne, 11 % des lycées disposent de moins de 3 ordinateurs dédiés aux SVT, 40 % disposent de 3 à 5 postes, 24 % de 6 à 8 postes et 11 % de plus de 9 ordinateurs. Des différences considérables existent entre ces académies : 23 % des lycées de l'académie d'Orléans-Tours disposent de plus de 9 ordinateurs, contre 0 % dans l'académie de Strasbourg et 4 % dans l'académie de Nantes. (Dans 14 % des lycées, les équipements sont dans des salles mixtes sciences physiques - SVT)

En ce qui concerne les chaînes de mesure, les matériels et logiciels destinés à l'oxymétrie viennent en tête avec 7 % des lycées disposant de moins de 2 chaînes, 19 % ayant 2 ou 3 postes de travail, 36 % disposant de 4 ou 5 postes, et 38 % de 6 poste ou plus. Là aussi, les différences entre académies, dues aux plans d'équipement, sont considérables : 50 % des lycées disposent de 6 postes ou plus dans les académies d'Orléans-Tours et de Versailles, contre 4 % dans l'académie de Strasbourg et 14 % dans l'académie de Nantes.

Enfin, la partie de l'enquête consacrée aux logiciels acquis et utilisés dans les établissements montre que si certains dispositifs d'expérimentation assistée par ordinateurs sont présents pratiquement dans tous les lycées et sont utilisés de manière quasi systématique, beaucoup de matériels disponibles sont peu diffusés. Les logiciels sont moins régulièrement présents et utilisés que les matériels d'EXAO. En classe de seconde, 4 logiciels sont utilisés dans 20 à 40 % des lycées ; en classe de première et en classe de terminale, 7 logiciels sont utilisés dans 20 à 40 % des lycées, le total représentant à peu près la moitié de la logithèque actuelle.

4.1.3 Choix d'applications significatives

Étant donné la diversité des applications, on a choisi de limiter le matériel d'étude à :

- l'EXAO dans le domaine de l'enzymologie, en classe de première scientifique, l'objectif étant la réalisation d'expériences, la saisie et l'analyse graphique de mesures ;
- la modélisation sur la base de données géophysiques en géodynamique externe ; la production de documents cartographiques pertinents et la synthèse des informations dans un modèle explicatif constituent l'armature des activités en classe de première ;
- l'exploitation de séquences de gènes et de protéines et de coordonnées tridimensionnelles de molécules, pour l'enseignement de la génétique moléculaire en classes de première et de terminale scientifiques, les activités demandées étant la conduite d'un raisonnement enchaînant hypothèses, choix de données pertinentes et de traitements adaptés.

On a privilégié dans ce choix la place occupée par les sujets dans les programmes (plusieurs séances leur sont généralement réservées) ; l'exemplarité par rapport aux modes d'utilisation majeurs de l'informatique ; la disponibilité d'instruments ouverts et de jeux de données permettant de faire varier les activités proposées aux élèves, ainsi que celle d'une documentation détaillée sur les aspects techniques, scientifiques et pédagogiques impliqués. Des progressions pédagogiques pour la mise en œuvre en classe ont été définies, intégrant cours, travaux pratiques classiques, acquisition de mesures et traitement des données avec ordinateur, utilisation de logiciels de visualisation ou de calcul.

On a également choisi pour l'expérimentation les cadres d'enseignement qui laissent le plus de liberté et d'initiative aux élèves. Pour l'enzymologie en classe de première, l'enseignement du tronc commun est une obligation. En revanche, on a choisi de traiter la géodynamique océanique comme un des thèmes optionnels de la classe de première scientifique, et la génétique moléculaire dans le cadre de l'enseignement de spécialité en terminale.

4.1.4 Savoirs et savoir-faire

Analyse commune à l'ensemble des applications

Pour déterminer si, dans le cadre de la résolution d'un problème, les activités impliquées par les différents modes d'utilisation de l'informatique pouvaient être analysées suivant les mêmes catégories ou s'il fallait une analyse spécifique de chaque type d'application, on a procédé à une analyse comparative des différentes étapes de l'utilisation par les élèves.

Banque de données	Expérimentation	Simulation	Modélisation
Formulation d'une hypothèse à tester. Implication observable : recherche du facteur significatif que l'on va suivre ou que l'on va faire varier			
Recherche et choix dans la banque, des données en relation avec le problème	Recherche du protocole en relation avec le problème		Recherche des éléments supposés faire varier le facteur significatif
Utilisation de la fonction du logiciel la plus adaptée au traitement des données. Saisie des paramètres ou du facteur significatif nécessaires aux calculs ultérieurs			
Prise de mesures			
Choix de l'algorithme de calcul	par l'algorithme de calcul	pour l'affichage graphique des résultats	Traitement des données par les équations du modèle
Paramétrage de l'affichage. Affichage d'un résultat			
Lecture des résultats. Interprétation = confirmation ou infirmation de l'hypothèse			
Conclusion = réponse au problème géologique ou biologique			

Analyse spécifique de chaque application

Pour chaque application et pour chaque étape, on a ensuite entrepris l'analyse des activités cognitives et pratiques en se référant pour le libellé des compétences aux documents "Utiliser les objectifs de référence..." en classes de première et de terminale scientifiques, publiés par la direction des lycées et collèges. On accepte comme préalable que l'élève connaît le matériel et le logiciel sur lequel il va travailler, qu'il est donc capable de choisir de manière autonome les traitements nécessaires.

Compétences informatiques impliquées

S'agissant d'applications pédagogiques, la crainte fréquemment exprimée par les enseignants concerne la complexité qui peut faire craindre que les compétences techniques prennent le pas sur les contenus scientifiques. L'analyse des situations retenues avec la même grille adoptée en sciences physiques montre la nécessité de la maîtrise des mêmes compétences informatiques générales. On a supposé qu'elles sont mises en place à l'occasion des utilisations de l'informatique dans les différentes disciplines. Des compétences spécifiques sont également requises, fortement liées à chaque application ; une phase d'apprentissage des caractéristiques spécifiques des outils a donc été aménagée au début de chaque thème d'étude.

Une évaluation sommative sur dossier

Deux des progressions définies ont été mises en œuvre à titre de test (en enzymologie et en génétique). Elles ont donné lieu à des épreuves classiques d'évaluation sous la forme d'exercices proposés à la fin de chaque série de séquences pédagogiques. Étant donné que ces

tests ont lieu dans les conditions courantes d'enseignement, cette forme d'évaluation centrée sur les connaissances et visant à contrôler la progression des élèves et à les noter s'avère indispensable. Elle est cependant peu adaptée pour rendre compte des méthodes utilisées pour résoudre les problèmes, ou pour illustrer les diverses activités intermédiaires qui ont été développées (documents produits, légendes, synthèses, etc.). Le travail n'est pas achevé sur ce plan, une évaluation sur dossier est en préparation, pour une nouvelle mise en œuvre des trois thèmes au premier semestre de l'année scolaire 1998-1999.

4.2 En sciences physiques

4.2.1 À propos des activités expérimentales

Nous avons constitué *une grille permettant l'objectivation des tâches à travers la description fine des consignes* données, dont nous donnons ci-dessous un extrait indicatif.

<p><i>Choisir, imaginer, créer</i>, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • prédire un phénomène, un résultat expérimental ; • choisir un appareil, un dispositif, ... ; • choisir une représentation graphique ; • proposer une relation mathématique ; • proposer un modèle théorique. 	<p><i>Réaliser, conduire</i>, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • faire ou compléter le schéma d'un montage ; • mettre en œuvre un protocole connu, une méthode d'analyse connue ; • effectuer un relevé de mesures ; • déterminer les incertitudes liées à un protocole.
<p><i>Fournir une réponse connue</i>, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • dire le rôle ou la fonction d'un appareil connu dans un montage ; • dire un protocole expérimental connu ; • énoncer une définition, un théorème, etc. ; • reconnaître un résultat connu ou annoncé. <p><i>Juger, argumenter, critiquer</i>, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • juger de la qualité/validité d'une mesure ; • juger de la cohérence d'un résultat. 	<p><i>Calculer, analyser</i>, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • obtenir une représentation graphique à partir d'une série de valeurs ; • déterminer la valeur d'une grandeur par lecture sur un graphique ; • déterminer la valeur d'une grandeur, par ajustement d'un modèle ; • écrire un résultat numérique en tenant compte des incertitudes.

Outre la valeur d'explicitation contenue dans la grille elle-même, celle-ci nous a permis de tracer les "profils" des fiches ou séances de travaux pratiques. Il est possible de donner ici les grandes lignes qui se dégagent d'emblée.

En ce qui concerne les objectifs des séances et le rôle de l'ordinateur dans les activités proposées aux élèves en travaux pratiques, le bilan est statistiquement simple : *moins de dix pour cent des fiches de travaux pratiques présentent une utilisation pertinente des instruments informatiques, qu'il s'agisse de l'acquisition automatique de mesures ou de la modélisation mathématique* ; la plupart des travaux pratiques sont des situations classiques où l'ordinateur entraîne soit une multiplication didactiquement discutable des manipulations formelles, soit une manipulation des données et des modèles qui tombe sous la critique scientifique.

S'agissant des tâches et consignes confiées aux élèves, le bilan global est là encore facile à établir. Qu'il s'agisse des fiches elles-mêmes ou des guidages par l'enseignant, on constate *un appauvrissement des profils* : en cohérence avec notre analyse sur les savoirs et savoir-faire "informatiques" mis en jeu mais non pris en charge, la majorité des consignes se situent à un niveau d'exécution de gestes élémentaires sur le logiciel. Le détail des consignes, voulu par

l'enseignant qui espère ainsi une autonomie (dans l'action) des élèves, est amplifié par l'usage de logiciels permettant l'automatisation de tâches, logiciels dont certains font, par leur ergonomie notamment, obstacle à une utilisation raisonnée.

4.2.2 À propos des savoirs et savoir-faire "informatiques"

Le travail d'analyse a également conduit à l'élaboration d'une grille descriptive des compétences de type "informatique" mises en jeu dans l'utilisation de moyens informatisés en sciences physiques. Ceci nous a amenés à distinguer, d'une part, des savoirs et des savoir-faire, et d'autre part, des compétences générales (savoir lancer un logiciel, charger un fichier, se déplacer dans un menu, entrer une expression mathématique, définir un tableau dans un tableur, tracer une représentation graphique à partir d'un tableau de valeurs, etc.) d'autres spécifiques à un usage scientifique (par exemple : connaître le rôle d'une interface, reconnaître les différents éléments d'une chaîne de mesure informatisée, mettre en œuvre une méthode de résolution numérique d'équation différentielle, etc.). La liste ainsi constituée a conduit à l'élaboration d'un codage qui nous a permis d'appliquer une même *grille de description* aux différentes fiches et aux transcriptions des séances de travaux pratiques. Il apparaît alors que *le profil des consignes d'activités est centré sur des savoirs et savoir-faire très élémentaires*. Ainsi, les consignes mettent essentiellement en jeu la capacité à sélectionner des commandes dans des menus déroulants, à entrer un nombre et à déplacer un pointeur sur un graphique.

Notre expérimentation relative à l'évaluation a bénéficié de cette analyse séparant explicitement les "connaissances de savoir-faire" et les "savoir-manipuler". À l'issue de ce travail nous proposons une *séance d'évaluation séparée en 2 parties* : une activité "papier-crayon" centrée sur l'évaluation de la *connaissance* d'un protocole expérimental et du principe des appareils utilisés, l'estimation des incertitudes, etc. ; une activité "*sur paillasse*" ; manipulation à partir de consignes écrites centrée sur l'évaluation du "savoir-manipuler" correspondant.

Ceci nous a également permis d'ajuster la liste des savoirs et savoir-faire que l'on peut raisonnablement considérer comme "exigibles" (au sens utilisé dans les programmes officiels de sciences physiques des lycées).

<ul style="list-style-type: none"> • savoir faire la connexion sur une voie d'entrée spécifiée d'une interface ; • savoir conduire/contrôler une acquisition semi-automatique ; • savoir utiliser une procédure d'optimisation de modèle ; • savoir paramétrer une acquisition automatique ou semi-automatique ; • savoir utiliser une méthode de dérivation numérique. 	<ul style="list-style-type: none"> • connaître l'existence de paramétrages d'acquisition : durée, intervalle de temps ; nombre de points, mode de déclenchement ; • connaître le principe de la dérivation numérique ; • connaître les conditions d'utilisation d'une méthode de moindres carrés (non pondérée, en particulier la régression linéaire).
--	--

L'expérimentation a montré également qu'une partie des difficultés des élèves venaient d'une maîtrise insuffisante des utilisations de base des logiciels, en particulier au niveau de la syntaxe des expressions mathématiques à utiliser dans des logiciels de modélisation. Ce point est important car il montre *le caractère incontournable d'une prise en charge de l'enseignement des savoirs et savoir-faire de base que nous avons listés, sans quoi tout objectif d'apprentissage de physique ou de chimie est illusoire*.

4.2.3 À propos d'une introduction de la prise en compte des incertitudes expérimentales et de leurs traitements statistiques

Notre approche a reposé sur le choix d'introduire la prise en compte des incertitudes expérimentales par *leur nécessité dans des activités de confrontation modèle/mesures* avec comme objectif concret de *faire acquérir aux élèves une compréhension minimale des logiciels de modélisation expérimentale qu'ils utilisent : principe de certaines méthodes, conditions d'utilisation et interprétation des résultats obtenus*. Par ailleurs, nos précédents travaux nous avaient conduits à considérer d'emblée une articulation forte entre mathématiques et physique à chaque niveau : la complémentarité de l'utilisation des outils et de l'explication de leurs principes devrait être assurée par une coordination des deux disciplines.

Concernant l'évaluation des acquis des élèves, une première analyse montre une bonne compréhension globale des notions liées aux incertitudes en particulier pour ce qui concerne l'écart quadratique et la méthode des moindres carrés et un investissement intellectuel des élèves sur ces questions qui, à l'évidence, ont pris du sens dans les activités proposées. En fin d'année, les élèves sont non seulement attentifs au niveau des chiffres significatifs qu'il convient de garder "en dépit" de l'affichage de la calculette ou du logiciel, mais peuvent développer une argumentation claire dans des situations où des questions sont posées sur l'écart entre points de mesures et modèle, sur l'hypothèse d'un point aberrant, sur la nécessité de faire plusieurs mesures, etc. Une analyse plus fine de nos premiers résultats et de nouveaux "tests de fin d'année" serait à faire pour approfondir un certain nombre de points encore en question.

5. Conclusions

En sciences physiques et en SVT, l'usage des ressources informatiques est intégré dans les cours et les travaux pratiques en même temps que les instruments classiques. Leur apport est donc évalué globalement à l'aide des méthodes classiques de contrôle des élèves. À côté des descripteurs généraux qui montrent l'impact de l'informatique sur les disciplines expérimentales, les situations qui nous ont paru se prêter à une analyse plus serrée conduisent à des conclusions plus générales.

Des potentialités de l'informatique peu exploitées

Dans les deux disciplines, il est d'abord remarquable de constater un décalage important entre le possible et le réalisé dans plusieurs registres : entre applications existantes et utilisées (illustré en SVT), entre potentialités des outils et dimensions exploitées (illustré en sciences physiques), entre compétences requises pour l'utilisation des moyens informatiques et formations prises en charge. Globalement, le renouvellement des méthodes d'approche et des instruments s'effectue à contenu et organisation sinon inchangés, du moins non coordonnés. En particulier, alors qu'on dispose dans certains domaines d'outils puissants susceptibles d'améliorer la formation scientifique non seulement en allant plus loin, mais aussi en permettant aux élèves de conduire une exploration scientifique en autonomie, les potentialités visées sont souvent minimales, réduites à ce qu'il est aisément possible d'intégrer. Il y a donc bien plus de possibilités d'exploitation des moyens informatiques existants que ne le permettent les programmes et la formation technique de base des enseignants et des élèves, mais cette situation est remédiable.

Complémentarité entre sciences expérimentales

Si l'enseignant de sciences physiques peut très souvent reproduire des phénomènes dans l'espace de la paillasse et dans le temps d'une séance de travaux pratiques, il n'en est pas de

même en biologie et géologie où l'expérimentation est nécessairement limitée par des raisons matérielles évidentes et des raisons "éthiques" (interdiction d'expérimenter sur les vertébrés). C'est plutôt en terme de complémentarité des utilisations de l'ordinateur "outil de laboratoire" qu'il convient sans doute d'aborder la question. Car si la nature des objets d'étude change, il s'agit toujours d'activités d'investigation scientifique où la modélisation occupe une place importante. Les usages de l'ordinateur pour explorer des bases de données, pour analyser un grand nombre de mesures, pour modéliser les phénomènes à grande échelle sont aussi des outils utilisés au laboratoire. Les deux disciplines amènent les élèves à connaître un ensemble de moyens informatisés complémentaires.

On ne peut occulter cependant des différences d'approche entre les deux disciplines, s'agissant des instruments techniques et du rôle des expériences. En ce qui concerne les instruments utilisés en EXAO par exemple, il s'agit de systèmes physiques dont la connaissance plus ou moins détaillée peut être considérée comme faisant partie des savoirs qui doivent être acquis par les élèves en sciences physiques, alors qu'il suffit d'en connaître le principe de fonctionnement et l'éventuel impact sur le phénomène étudié en SVT. Quand aux expériences, elles trouvent leur place en SVT dans un processus de recherche d'une explication (résolution d'un problème) alors qu'en sciences physiques elles sont réalisées en général pour confirmer et approfondir une relation ou une loi connue et sont de ce fait plus normées.

La publication de "fiches de TP", admise et pratiquée en sciences physiques, est plus discutée en SVT, l'inspection générale souhaitant que ces fiches comportent à la rigueur les éléments du protocole expérimental mais qu'on ne puisse en induire une exploitation pédagogique dont la construction est à l'initiative de l'enseignant.

Une articulation forte entre physique et mathématiques

Le travail en interdisciplinarité mathématiques-physique mis en place à propos des méthodes numériques (et en particulier sur les traitements statistiques) a aidé les élèves à passer de la théorie à l'application et à mieux comprendre certaines méthodes qu'ils utilisent en sciences physiques. Réciproquement, l'application de méthodes numériques de dérivation, d'intégration ou de résolution d'équation différentielle a servi de support à l'apprentissage en mathématiques et a contribué à mieux faire apparaître l'intérêt de ces notions difficiles. Mais les programmes, tels qu'ils sont actuellement rédigés, ne facilitent pas cette mise en relation, et il nous paraît donc souhaitable que les programmes de mathématiques et de physique évoluent vers une meilleure cohérence.

Une formation "d'utilisateur éclairé" des instruments informatisés

Pour ce qui concerne les contenus disciplinaires, l'introduction d'un usage raisonné des moyens informatisés impose de nouveaux savoirs et savoir-faire. Mais aucune discipline ne peut prendre en charge l'introduction de tous ceux qui, du prérequis général aux aspects spécifiques, sont mis en jeu dans les activités ainsi instrumentées : une coordination, dans le sens d'une complémentarité, s'impose. Une large partie de ces savoirs relève d'un enseignement d'informatique, tel qu'il est envisagé dans les textes au niveau de la classe de Seconde. De notre point de vue, cet enseignement ne saurait être considéré comme optionnel mais bien au contraire constitutif du tronc commun. Une telle réflexion sur les programmes doit naturellement s'intéresser à la progression des apprentissages, à l'articulation des différents niveaux, en particulier la transition collège-lycée, ainsi qu'aux objectifs généraux de l'enseignement scientifique.

Productions

En sciences de la vie et de la Terre

- Coste M., Clabaud L., Legrand S., Salamé N. : " Diffusion et utilisation de l'informatique en sciences de la vie et de la Terre ", *Bull. de l'APBG*, n°4, Juin 1997.
- Coste M., Ledoussal C. : "Diffusion et utilisation de l'informatique en sciences de la vie et de la Terre", *Colloque "Informatique et communications dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre"*, ENS-INRP, octobre 1997.
- Pol D. : Evolution de l'expérimentation assistée par ordinateur : 1990-1997. Colloque "Informatique et communications dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre", ENS-INRP, octobre 1997.
- Pol D., Salamé N., Séré M-G : Les travaux pratiques dans l'enseignement des sciences de la vie et de la Terre au lycée en France.". Communauté Européenne. Working Paper n° 10, juin 1998, 96 p.

En Sciences physiques

- Richoux H., Beaufils D., Canguilhem C., Fondere F., 1998. Évaluation des savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation de moyens informatisés dans les classes scientifiques du lycée, in Actes des 8e Journées nationales *Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Paris : UdP-INRP, 151-156.
- Ducaté A., Cazaux B., 1998. Méthodes numériques et incertitudes en terminale scientifique : articulation entre mathématiques et physique, in Actes des 8e Journées nationales *Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Paris : UdP-INRP, 109-114.
- Richoux H., 1997. Quels sont les rôles des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique au lycée ?, *Séminaire national de Recherche en Didactique des Sciences*, Lyon (à paraître.)
- Beaufils D., Schwob M. (Eds). 1997. *Outils informatiques d'investigation scientifique dans l'enseignement des sciences physiques*, Actes de l'Université d'été (Nantes, 1995), Paris : INRP-UdP, 272 p.
- Beaufils D., Richoux H., 1996. *Intégration de l'ordinateur outil d'investigation scientifique dans l'enseignement des sciences physiques au lycée*, INRP, Coll. Documents et travaux de recherche en éducation, 130 p.