

SAVOIRS ET SAVOIR-FAIRE ASSOCIÉS À L'UTILISATION D'INSTRUMENTS INFORMATISÉS DANS DES ACTIVITÉS DE TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIQUE

Daniel Beaufile
Hélène Richoux
Chantal Camguilhem

L'ordinateur est utilisé dans les classes de physique et chimie en tant qu'instrument de laboratoire permettant la réalisation de mesures et leur analyse par le jeu des représentations graphiques et la modélisation mathématique. Une telle utilisation de moyens informatiques par les élèves, si elle se veut raisonnée et s'inscrire dans des activités scientifiques, ne peut ignorer l'existence d'un certain nombre de savoirs et de savoir-faire spécifiques qu'il convient alors de faire acquérir aux élèves. Nous présentons ici un travail mené dans le cadre d'une recherche de l'Institut National de Recherche Pédagogique. À partir de l'analyse de fiches de travaux pratiques et d'observations de classe nous avons identifié les savoirs et savoir-faire mis en œuvre. Cette liste a été dans un premier temps utilisée comme grille d'analyse descriptive des activités en travaux pratiques. Le corpus étudié montre essentiellement un appauvrissement de l'implication cognitive des élèves. Ceci nous a conduit, dans un second temps, à élaborer et tester une hiérarchisation permettant, notamment, de proposer un ensemble de savoirs et savoir-faire considérés comme "exigibles" d'élèves en fin de cycle scientifique.

une prise en
compte de
l'évolution

Depuis de nombreuses années l'ordinateur est utilisé dans les classes de physique et chimie en tant qu'instrument de laboratoire permettant la réalisation de mesures et leur analyse par le jeu des représentations graphiques et la modélisation mathématique. Ces utilisations sont d'ailleurs maintenant institutionnalisées puisqu'elles sont mentionnées dans les programmes des classes de lycée d'enseignement général et qu'un sujet de montage (1) spécifique au CAPES de physique et chimie a été instauré pour la session de 1998.

Pour autant, le niveau de compétence et de connaissance attendu des élèves dans l'utilisation de ces instruments informatisés est très variable d'un professeur à un autre et la question de la prise en charge de l'enseignement correspondant par la physique, les mathématiques ou l'informatique n'est pas résolue. Ceci se traduit en particulier au plan

(1) Épreuve orale intitulée exactement : "montage et traitement automatisé de l'information".

de nouvelles
connaissances
à expliciter

de l'évaluation : si l'idée d'une évaluation prenant en compte des compétences relatives à l'utilisation d'instruments tels que l'oscilloscope ou le pH-mètre fait son chemin, celle d'y inclure l'ordinateur de laboratoire est encore généralement repoussée.

Il apparaît pourtant clairement que, si l'on veut que les élèves utilisent de façon raisonnée les moyens informatisés dans des activités scientifiques, il convient de leur faire acquérir un certain nombre de savoirs et savoir-faire spécifiques. Mais pour cela, il faut définir ces connaissances, les enseigner et, *in fine*, pouvoir en évaluer l'acquisition. C'est dans cette optique que nous avons mené un travail d'analyse et d'expérimentation dans le cadre d'une recherche de l'Institut National de Recherche Pédagogique (département Technologies nouvelles et éducation) durant trois années. À partir de l'analyse des activités effectivement proposées aux élèves par des enseignants (fiches de travaux pratiques, observations de classe) nous avons dans un premier temps cherché à identifier les savoirs et savoir-faire mis en œuvre (souvent implicitement). Ce travail d'extraction à partir de situations particulières de physique ou de chimie et d'explicitation des différentes connaissances et compétences nous a conduits à élaborer une hiérarchisation permettant, notamment, de proposer un ensemble de savoirs et savoir-faire considérés comme "exigibles" (2) pour des élèves en fin de cycle scientifique. Cette dernière étape s'est appuyée sur une expérimentation de situations d'évaluation.

1. LES SAVOIRS ET SAVOIR-FAIRE IMPLIQUÉS PAR L'UTILISATION D'INSTRUMENTS INFORMATISÉS DANS LES TRAVAUX PRATIQUES

Notre hypothèse est donc que l'introduction d'instruments informatisés dans les travaux pratiques entraîne des modifications au plan des activités elles-mêmes mais aussi au plan des connaissances et compétences requises. De la saisie de données (au clavier ou automatique) à la résolution d'équations différentielles, de nouveaux savoirs et savoir-faire apparaissent en effet d'emblée : ceux relatifs à l'objet "ordinateur" et son environnement comme ceux relatifs à de nouvelles méthodes (traitement statistique, optimisation de modèles, etc.). Pour aller au-delà d'une simple évocation indicative, il faut être capable d'en faire une liste explicite, qui distingue les connaissances des savoir-faire et différencie ceux qui sont généraux de ceux qui sont spécifiques à un usage scientifique.

(2) Au sens où ce terme est utilisé dans les programmes officiels des classes de collège et de lycée.

l'analyse
des fiches
de travaux
pratiques

1.1. Aspects méthodologiques

Dans la première étape de notre travail nous nous sommes attachés à analyser la situation de fait en nous intéressant aux protocoles proposés sous forme de "fiches-TP" écrites par des enseignants à l'attention de leurs collègues (3).

En deuxième étape, nous avons travaillé une structuration de cet ensemble de façon à faire apparaître clairement ce qui est savoir et ce qui est "savoir-faire" et, dans ce dernier ensemble, à distinguer ce qui est savoir-utiliser de ce qui est savoir-mettre en œuvre.

En troisième étape, nous avons utilisé cette liste structurée comme grille pour ré-analyser sur un plan quantitatif un certain nombre de fiches de travaux pratiques du corpus précédemment défini. Ainsi, en relevant dans les consignes explicites de la fiche celles qui correspondent à un élément de la liste, on peut construire le profil séquentiel des savoirs et savoir-faire que la séance met en jeu, et donner ainsi une image de l'activité prévue. La mise en commun des analyses permet alors un comptage relatif des différents savoirs et savoir-faire.

1.2. Une liste des savoirs et savoir-faire

une liste de
savoirs et de
savoir-faire

Nous donnons ci-dessous un extrait de la liste que nous avons ainsi élaborée (voir tableau 1 ; l'ensemble des items est repris en annexe 1) et pour laquelle nous voulons expliciter les distinctions opérées entre savoirs et savoir-faire et, dans cette seconde catégorie, entre ce que nous avons appelé "savoir-utiliser" et "savoir mettre en œuvre". Si la première distinction est habituelle, il nous paraît tout aussi important de distinguer un premier niveau de connaissance/compétence permettant d'utiliser tel ou tel instrument à la demande explicite de l'enseignant, d'un second niveau de maîtrise, où l'élève est capable de mettre lui-même en œuvre une procédure pour résoudre une question. Cette distinction n'est d'ailleurs pas spécifique à l'utilisation d'instruments informatisés : souhaiter d'un élève qu'il décide d'utiliser une résolution numérique d'équation différentielle pour déterminer la valeur du coefficient de frottement fluide, n'est pas différent que d'attendre qu'il soit capable de décider d'utiliser le mode "xy" d'un oscilloscope pour détecter une résonance puis de repasser en balayage pour répondre à une question du type "mesurer la fréquence de résonance du circuit...".

(3) Le corpus de fiches a été constitué sur la base de *La physique, la chimie, l'ordinateur* (vol. 1 et 2), Ministère de l'Éducation Nationale, 1994 ; *Physique chimie* (Groupe Evariste), Ministère de l'Éducation Nationale, 1995 ; CNERTA, *Réflexions sur l'ExAO*, 1995.

Tableau 1. Extrait de la liste des savoirs et savoir-faire impliqués par l'utilisation d'instruments informatisés

<p>Les savoir-faire (4)</p> <p><i>Savoir-faire généraux relatifs à l'utilisation d'un ordinateur et d'un logiciel</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • i3 – savoir entrer un nombre, une lettre, un mot alphanumérique dans une zone... • i5 – savoir se déplacer dans un menu de commandes, valider une commande <p><i>Savoir-faire relatifs à la manipulation des dispositifs techniques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • t2 – savoir faire la connexion sur une voie d'entrée d'une interface <p><i>Savoir-faire relatifs à l'exploitation de fonctionnalités logicielles (scientifiques)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • l2 – savoir entrer une expression définie par une fonction mathématique • l6 – savoir utiliser une procédure/commande d'optimisation de modèle <p><i>Savoir-faire relatifs à la mise en œuvre de méthodes et/ou de moyens (scientifiques)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • m2 – savoir déterminer les paramètres d'une acquisition automatique en fonction du phénomène étudié • m5 – savoir mettre en œuvre une méthode d'optimisation de modèle sur un ensemble de données pour déterminer des paramètres <p>Les savoirs</p> <p><i>Savoirs généraux relatifs à l'utilisation d'un ordinateur et d'un logiciel</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • sg1 – connaître des termes de vocabulaire général tels que : valider, fichier, menu, etc. • sg3 – connaître l'existence de paramétrages de représentation graphique <p><i>Savoirs relatifs à l'exploitation de fonctionnalités logicielles (scientifiques)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • sl1 – connaître la commande logicielle de paramétrage d'une acquisition de mesures • sl7 – connaître la commande logicielle d'un traitement spécifique <p><i>Savoirs relatifs à la mise en œuvre de méthodes et/ou de moyens (scientifiques)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • sm1 – connaître le rôle d'une interface en tant que convertisseur analogique • sm4 – connaître le principe d'une méthode de moindres carrés • sm5 – connaître les conditions d'utilisation d'une méthode de moindres carrés
--

(4) Les libellés ci-après sont accompagnés du code que nous avons utilisé pour l'analyse détaillée des fiches et que nous présentons dans la suite.

1.3. Un premier bilan d'analyse des fiches de travaux pratiques

Après cette première phase d'explicitation, nous avons utilisé cette liste comme grille d'analyse descriptive de fiches de travaux pratiques. Le codage a porté sur les consignes écrites : pour chaque terme clé de la consigne (un verbe en général), un code de savoir et/ou savoir-faire a été attribué. Ainsi, pour chaque fiche, l'analyse descriptive conduit à un profil (une séquence) de savoirs et savoir-faire "informatiques" (voir exemple dans tableau 2).

Tableau 2. Profil (séquence) descriptive d'une fiche de travaux pratiques sur l'étude énergétique d'une bobine

t2	sl1	i5	i5	i4	i4	i5	i4	i5	i3	i3	i3	sl7
----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

un outil pour analyser les activités proposées en travaux pratiques

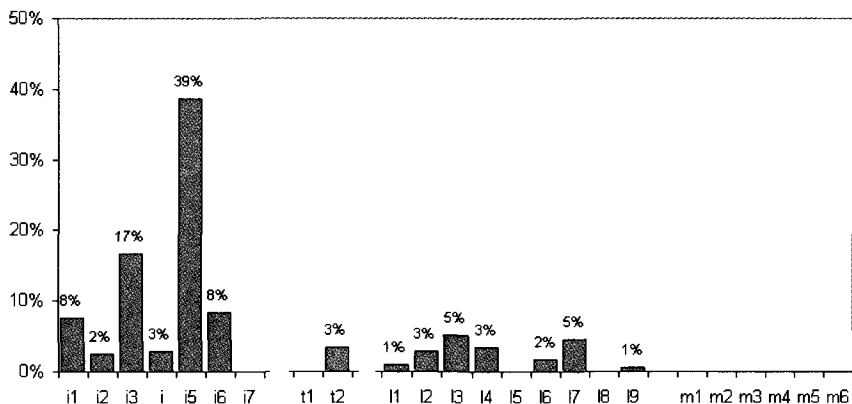
L'application aux vingt-deux fiches du corpus a permis de repérer le détail des savoirs et de comptabiliser les occurrences de chaque élément de la liste des savoir-faire.

Ainsi, pour ce qui concerne les savoirs, les consignes mettent bien évidemment en jeu tout un vocabulaire (codé sg1), dont une partie est constituée de termes "bureautiques" de base : "entrer", "valider", "sauver", "répertoire", "bandeau", etc. Une autre partie est constituée de termes plus "spécialisés" tels que "interface", "paramètre", "synchronisation", etc. Par ailleurs, dans un grand nombre de cas, le vocabulaire renvoie à l'utilisation d'un logiciel particulier (items sl1, sl6) et les consignes sont le plus souvent écrites avec des enrichissements (gras, majuscule, italique) et de façon à faire apparaître le nom de la commande à utiliser, par exemple : "définir une *Variable/Dérivée*", "dupliquer C1 en C3"...

Pour ce qui concerne les savoirs relatifs aux méthodes, quelques rares exemples supposent les élèves capables de paramétrer une acquisition, d'utiliser une dérivation numérique ou d'utiliser une modélisation "automatique". Mais pour autant, aucune question n'est envisagée sur la connaissance ou la compréhension des méthodes utilisées, ni même sur les raisons ou conditions de leur utilisation (5). Enfin, nous avons comptabilisé les différents savoir-faire rencontrés. Le bilan (voir figure 1) montre que les consignes de loin les plus courantes ne concernent que la sélection de commandes dans des menus et l'entrée de nombres dans des fenêtres de saisie (items i3 et i5) et qu'à l'opposé les savoir-faire relatifs à la mise en œuvre de méthodes ou de moyens scientifiques n'apparaissent jamais...

(5) Ni dans la fiche élève ni dans la fiche professeur, ni dans les généralités des ouvrages correspondants.

**Figure1. Taux de répartition des différents savoir-faire
(les pourcentages sont calculés par rapport au nombre total de
consignes ainsi codées qui s'élève à 463)**



1.4. Éléments de conclusion

Force est de constater que, par rapport aux déclarations générales sur l'intérêt des instruments informatisés qui, par le gain de temps sur les représentations et le traitement des données, permettraient de s'intéresser au dispositif expérimental, à la physique du phénomène, etc., les exemples de travaux pratiques qui ont été analysés sont pour l'essentiel à l'opposé.

L'appauvrissement des tâches confiées à l'élève est indiscutable : le graphique de répartition présenté plus haut montre à quel point les consignes limitent les savoir-faire. Ceci conduit d'ailleurs à une situation paradoxale : ainsi on estime manifestement que les élèves n'ont pas de connaissances particulières en "informatique", mais on utilise largement des termes comme "Copy A :/", "répertoire", "exporter", de même, parce que l'on considère que l'élève n'a rien à connaître en la matière (ou qu'il va apprendre facilement tout ce vocabulaire) on intègre dans la fiche de travaux pratiques des consignes d'entrée au clavier, de création de variable, de paramétrage de graphiques, de calcul de tangentes, etc. qui conduisent à une inflation considérable des "connaissances" !

Notre constat pourrait être la conséquence de la sélection de nos fiches qui, pour certaines, sont relatives à des logiciels un peu anciens et peu conviviaux. Mais le téléchargement de fiches mises à disposition des enseignants sur des sites académiques Internet ne nous a pas donné réellement de contre-exemple. Ce constat pourrait aussi être la conséquence d'une contrainte de diffusion vers un large public : en effet, afin d'être plus précis, plus explicite, la tendance a

une situation
paradoxale

peut-être été de rajouter aux fiches ainsi publiées des informations et des guidages supplémentaires, inexistantes dans la fiche originelle. Mais là encore, les observations de classe que nous avons pu effectuer montrent que l'absence de consigne écrite sur la fiche peut être compensée par un guidage oral constant en cours de séance. La raison qui nous paraît ressortir est que, dans tous les cas, les élèves sont considérés comme n'ayant aucune connaissance ou compétence relative à ces instruments informatisés.

On voit donc bien que cette situation relève parfaitement de notre problématique : parce que les savoirs et savoir-faire sont mal définis, parce qu'ils ne sont pris en charge par personne (et en particulier pas par l'enseignant de sciences physiques), on considère que l'élève n'a rien à savoir (ni à apprendre). On élabore alors des guidages qui ramènent finalement l'activité à un suivi de consignes élémentaires qui, non seulement évitent de savoir ce que l'on calcule, mais n'invitent pas les élèves à se poser des questions sur le phénomène étudié... Pour résoudre cette situation, il faut porter le regard au-delà. Au-delà du T.P. particulier avec tel logiciel pour voir la progression possible dans les utilisations au cours d'une année scolaire, voire un cycle d'enseignement ; au-delà aussi de la seule discipline sciences physiques qui ne peut ni rejeter tout sur un autre enseignement (d'informatique, par exemple), ni ignorer ce que les élèves peuvent apprendre au collège ou au lycée, en informatique, mathématique ou biologie...

l'importance
d'une
articulation
avec d'autres
disciplines

2. LES SAVOIRS ET SAVOIR-FAIRE "INFORMATIQUES" À ACQUÉRIR, À ÉVALUER

2.1. Une structuration interdisciplinaire

La mise à plat de tous les savoirs et savoir-faire "informatiques" mis en jeu dans les activités de travaux pratiques soulève immédiatement la question de leur appartenance à telle ou telle discipline d'enseignement. De plus, dans l'hypothèse où l'on aurait confié à d'autres disciplines l'enseignement de savoirs et savoir-faire de base requis pour une utilisation minimale des instruments informatisés, comment les sciences physiques prennent-elles en charge ce qui leur resterait dévolu ? Et plus précisément, quels sont les savoirs et savoir-faire que l'on est capable d'évaluer ? (6)

(6) Dans notre démarche d'analyse, la question de "l'enseignabilité" vient donc en dernière étape : quelle progression et quelles situations peut-on mettre en place pour un tel apprentissage. Un travail d'expérimentation a été mené dans ce sens, en parallèle avec l'analyse des travaux pratiques (voir Ducaté et Cazaux, 1998, Richoux et al., 1998).

Pour apporter des éléments de réponse à ces questions, nous proposons ici une structuration des savoirs et savoir-faire qui fait apparaître d'une part ce qui peut/doit être considéré comme requis pour une utilisation en classe de sciences des lycées, et d'autre part, ce qui peut/doit être considéré comme des savoirs et savoir-faire exigibles à l'issue d'une formation scientifique. Cette structuration est issue d'un double mouvement :

- une "induction" à partir des éléments d'analyse et de conclusion précédents ;
- une "réduction" après confrontation des propositions à la réalité du terrain (à l'occasion de devoirs surveillés ou par une expérimentation spécifique).

2.2. Une grille structurée

Ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, un certain nombre de savoirs et de savoir-faire apparaissent clairement comme devant être considérés comme *requis*. Nous entendons par là, qu'en l'absence de ceux-ci, la conduite d'une activité scientifique est illusoire : les informations à donner alors ramènent la tâche des élèves à un suivi de consignes "surdétaillées" et uniquement techniques, effaçant du même coup la compréhension du dispositif expérimental, de la démarche, du phénomène et donc de la physique... Nous avons en fait été amenés à distinguer ce que nous avons appelé des *prérequis de niveau 1 et 2*. Les premiers à l'instar de "savoir calculer et utiliser une calculette", sont à faire acquérir aux élèves au plus tôt et dans d'autres enseignements que la physique, ce sont des savoir-faire tels que : savoir lancer un logiciel spécifié, savoir entrer un nombre, charger un fichier, renseigner une zone de saisie multiple, etc. Les seconds sont ceux qui concernent les logiciels utilisés en classe de science et sont donc utiles pour conduire à bien les activités scientifiques, mais dont l'acquisition, à l'évidence, ne peut pas être considérée comme indispensable. Il s'agit de connaissances du type : connaître la commande de paramétrage d'une acquisition de mesures, savoir obtenir une courbe à partir de l'expression mathématique d'une fonction, etc. (voir détail en annexe 1).

Il reste de nombreux savoirs et savoir-faire qui relèvent alors d'un enseignement de sciences physiques. Parmi ceux-ci, bien évidemment, on trouve (voir liste complète en annexe 1) :

- savoir reconnaître les différents éléments d'une chaîne de mesure informatisée ;
- savoir conduire/contrôler une acquisition semi-automatique ;
- savoir déterminer la précision de la mesure pour une quantification donnée ;
- savoir mettre en œuvre une méthode d'optimisation de modèle sur un ensemble de données pour déterminer des paramètres ;

des savoirs et savoir-faire qui relèvent d'un enseignement scientifique

- connaître le rôle d'une interface (convertisseur analogique numérique) : savoir que les mesures sont faites par échantillonnage et que les mesures sont quantifiées ;
- 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).

Comme nous l'avons expliqué en introduction, une telle spécification des savoirs et savoir-faire ne peut s'envisager sans prendre en considération la question de "l'évaluabilité". En d'autres termes, ayant défini des savoirs et savoir-faire relatifs à l'utilisation d'instruments informatisés en sciences physiques en termes opérationnels, il restait à montrer d'une part, qu'il était possible de trouver des questions de physique et des activités permettant d'en évaluer le degré d'acquisition par les élèves et d'autre part, que les élèves sont capables d'atteindre un degré minimal pour un niveau d'enseignement donné (sections scientifiques des lycées, niveau supérieur).

2.3. La question de "l'évaluabilité"

Nous avons donc travaillé l'élaboration de situations (phénomène physique, moyens d'investigation, protocole et questions) conduisant à des questions explicitement reliées aux compétences sélectionnées, sous une forme telle que les actions de l'élève (actions sur le dispositif et réponses aux questions posées) permettent de décider si les connaissances attendues sont acquises ou non. Ces situations ont été proposées à des élèves ayant suivi un enseignement compatible (le phénomène a été effectivement étudié en cours d'année et ils ont eu l'occasion d'utiliser les instruments informatisés nécessaires). Il convient ici d'attirer l'attention sur le fait que nos essais et nos propositions ne visent pas la mise en place d'une évaluation des élèves. S'il y a évaluation, c'est celle de nos propositions : le fait de faire passer des élèves dans des situations particulièrement contrôlées (dans leur élaboration et leur réalisation) est bien le moyen de tester nos hypothèses et d'ajuster nos futures propositions.

Nous avons pu élaborer cinq sujets pour chacun des niveaux de Première et Terminale scientifiques. Le choix des situations et le libellé des textes fournis aux élèves se sont avérés difficiles. De plus, notre objectif d'évaluation bien ciblée, nous a conduits à une structure particulière dans laquelle le sujet est nécessairement conçu en deux parties fortement corrélées mais devant être traitées en deux temps séparés : une partie papier-crayon pour l'évaluation des savoirs, et une partie sur "paillasse" pour celle des savoir-faire correspondants. Ces sujets ont fait l'objet de séances type "travail en temps limité", soit avec des élèves volontaires venus travailler seuls, durant quarante cinq minutes, avec le maté-

des
compétences
observables,
des
connaissances
évaluables?

la nécessité
d'un
apprentissage
spécifique
des méthodes

riel mis à disposition, soit à l'occasion d'évaluation en classe entière (7).

L'observation des élèves a permis de vérifier leur maîtrise globale de l'outil informatique : aisance dans la manipulation du clavier, familiarité avec les commandes logicielles. Pour ce qui concerne la maîtrise des méthodes informatiques, la situation est plus variable. Si certains élèves connaissent la procédure de modélisation et exploitent de façon satisfaisante l'information obtenue après modélisation sur les coefficients et leurs incertitudes, d'autres achoppent à différentes étapes :

- la modélisation et les "valeurs initiales" ;
- la transcription des affichages en "notation satisfaisante pour le physicien" ;
- la non-détection de problèmes "majeurs" issus de calculs automatiques.

La variabilité des constats a, étant donné le petit nombre d'élèves observés, de nombreuses origines possibles : influence des sujets, influence de l'environnement pédagogique (pour certains élèves de Terminale l'utilisation de l'ordinateur au laboratoire a pu commencer dès la classe de Seconde) et bien évidemment dépendance directe des élèves eux-mêmes (8). Ce "résultat" nous conforte cependant dans notre point de vue : la maîtrise des instruments et méthodes informatisés ne va pas de soi et des apprentissages spécifiques sont nécessaires et n'apparaissent pas plus inaccessibles aux élèves que les connaissances "classiques" de physique et de chimie.

2.4. Des connaissances et compétences "exigibles" ?

À la suite de ces expérimentations, nous avons été amenés à hiérarchiser ces compétences en deux sous-niveaux : le premier contient les connaissances à évaluer en cours de formation, le second, celles que nous considérons importantes au point d'en faire des critères d'exigibilité dans l'hypothèse d'une évaluation sommative en fin de cycle terminal (voir annexe 1).

Ainsi notamment, à l'instar de savoir faire les branchements avec un multimètre, nous considérons qu'un élève sortant de Terminale scientifique devrait savoir faire la connexion sur une voie d'entrée spécifiée d'une interface. De même, s'il est censé savoir faire un goutte-à-goutte en pH-métrie, il devrait savoir conduire/contrôler une acqui-

(7) Réalisées dans les lycées Henri Wallon d'Aubervilliers et Marcel Pagnol d'Athis-Mons. Nous ne pouvons donner ici l'ensemble des sujets qui portent ainsi sur la mécanique, l'électricité, la chimie. Un exemple est donné en annexe 2. L'ensemble figure dans le rapport de recherche correspondant.

(8) Il faut noter ici que les volontaires ne sont pas nécessairement les "meilleurs" élèves du point de vue de la réussite scolaire.

sition semi-automatique (déclenchement, validation clavier, entrée de valeurs au clavier, etc.). De même, encore, si l'on attend d'un élève qu'il sache choisir un calibre ou une base de temps sur un oscilloscope, on peut demander qu'il sache paramétrer une acquisition automatique ou semi-automatique.

des savoirs et savoir-faire exigibles au titre d'une formation scientifique ?

Ces éléments, bien que liés à l'utilisation de l'ordinateur et d'une interface restent ici très proches des manipulations "classiques" et sont donc facilement envisageables. Mais il existe d'autres aspects tout aussi importants bien que plus "informatiques". Ainsi, il nous semble qu'étant donné son taux d'utilisation et son intérêt indiscuté dans les activités scientifiques, la modélisation/optimisation de modèle doit faire partie des outils qu'un élève doit acquérir. (Nos expérimentations nous ont toutefois amenés à rester modestes : nous n'avons retenu que "savoir utiliser une procédure/commande d'optimisation de modèle" et "connaître les conditions d'utilisation d'une méthode de moindres carrés"). Nous avons également mentionné à ce niveau le principe de la dérivation numérique, en raison cette fois des erreurs de compréhension que nous avons pu relever : il nous paraît en effet difficile de laisser planer une confusion entre numérique et analytique, entre méthode numérique et calcul formel, entre calcul approché et définition exacte.

EN CONCLUSION

un outil pour une étude diachronique

Le premier résultat de notre travail est la liste des savoirs et savoir-faire "informatiques" mis en jeu et souvent requis, pour une utilisation des instruments informatisés en classe de physique. Cette liste permet, du point de vue de l'investigation didactique, de construire une grille d'analyse descriptive des fiches de travaux pratiques. Les premières analyses que nous avons ainsi faites ont montré le faible niveau de connaissance et compétence attendu des élèves. Nous pensons que cet outil d'analyse, utilisé sur des corpus plus récents, permettra de repérer les évolutions qui nécessairement doivent se produire, du fait de l'évolution des matériels bien sûr, mais aussi du fait de l'évolution des idées et connaissances didactiques des enseignants (9).

le point de vue curriculaire

Par ailleurs, ce travail d'explicitation constitue une base pour une réflexion à visée curriculaire. Poursuivant dans cette voie, notre démarche nous a conduits à proposer un ensemble de savoirs et savoir-faire qui relèvent d'un enseignement de sciences. Ceci a alors deux conséquences : la

(9) Voir MENRT, 1999.

première est la nécessaire articulation avec d'autres disciplines comme les mathématiques ou l'informatique, et la seconde est la prise en charge, à la fois niveau de l'enseignement et au niveau de l'évaluation, des nouvelles connaissances et compétences attendues des élèves scientifiques.

Les expérimentations que nous avons menées nous ont permis d'ajuster les définitions des savoirs et savoir-faire que les élèves sont capables d'acquérir et que l'on peut inscrire comme "compétences exigibles ou en cours d'apprentissage", pour reprendre le libellé des programmes officiels. Bien évidemment, une évaluation sur un plus grand nombre d'élèves constituerait une meilleure validation de nos propositions, mais cela sous-entend que l'enseignement correspondant soit dispensé et que celui-ci soit équivalent d'une classe à l'autre. La première étape est donc bien de s'accorder sur les objectifs d'acquisition.

Daniel BEAUFILS
IUFM de l'Académie de Versailles

Hélène RICHOUX
INRP – TECNE, Montrouge

Chantal CAMGUILHEM
Lycée Henri Wallon, Aubervilliers

BIBLIOGRAPHIE

BEAUFILS, D. (1992). Construction d'activités scientifiques en classe de lycée : à propos de l'ordinateur outil de laboratoire. In *Actes du colloque Recherches en didactiques des disciplines : contribution à la formation des maîtres*. Paris : INRP, 183-199.

BEAUFILS, D., RICHOUX, H. (1996). *Intégration de l'ordinateur outil d'investigation scientifique dans l'enseignement des sciences physiques au lycée, Documents et travaux de recherche en éducation, n° 20*. Paris : INRP, 136 p.

BEAUFILS, D., RICHOUX, H., CAMGUILHEM, C. (1998). *Les savoirs et savoir-faire "informatiques" mis en œuvre dans des activités scientifiques utilisant des instruments informatisés (sciences physiques), Rapport de recherche interne Inrp-Tecne*. Paris : INRP, 112 p.

BEAUFILS, D., SCHWOB, M. (Éds.) (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.

DUCATÉ, A., CAZAUX, B. (1998). Méthodes numériques et incertitudes en terminale scientifique : articulation entre mathématiques et physique. In *Actes des 8^{es} Journées nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*. Paris : UdP-INRP, 109-114.

IGEN, Groupe de physique-chimie (1997). *Évaluation des capacités expérimentales des élèves de Terminale S en physique-chimie*.

MENRT. *Activités expérimentales des élèves en physique-chimie, quels enjeux d'apprentissages ?* Caen : CRDP de Basse Normandie, 140 p.

RICHOUX, H., BEAUFILS, D., CAMGUILHEM, C., FONDÈRE, F. (1998). Évaluation des savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation de moyens informatisés dans les classes scientifiques du lycée. In *Actes des 8^{es} Journées nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*. Paris : UdP-INRP, 151-156.

UNION DES PHYSICIENS (1990). *Acquisition et analyse de données*. Paris : UdP.

UNION DES PHYSICIENS (1994). *Une première expérience d'évaluation de la pratique expérimentale en Terminale scientifique*. Paris : UdP.

UNION DES PHYSICIENS (1995). Éléments d'une formation des maîtres à l'utilisation de moyens informatisés dans l'enseignement des sciences physiques ; proposition de l'Union des Physiciens. *BUP*, 778, 21-31.

ANNEXE 1 LISTE (HIÉRARCHISÉE) DES SAVOIRS ET SAVOIR-FAIRE

LES SAVOIRS

Pré-requis niveau 1	Pré-requis niveau 2	À acquérir en physique-chimie	
		Évaluation en formation	Évaluation sommative
<ul style="list-style-type: none"> • sg1 – connaître des termes de vocabulaire général... • sg2 – connaître des termes de vocabulaire spécifique... • sg3 – connaître l'existence de paramètres de représentation graphique... 	<ul style="list-style-type: none"> • sl1 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) de paramétrage d'une acquisition de mesures • sl2 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) de lancement/exécution d'une acquisition • sl3 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) permettant le calcul et la représentation d'un tableau de valeurs • sl4 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) d'obtention/configuration de représentation graphique • sl5 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) de tracé de courbes mathématiques (par fonction ou équation) • sl6 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) permettant l'optimisation de modèle • sl7 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) d'une fonctionnalité ou d'un traitement spécifique • sl8 – connaître la (les) commande(s) logicielle(s) de paramétrage et exécution d'une résolution numérique d'équation différentielle 	<ul style="list-style-type: none"> • sm1 – connaître le rôle d'une interface en tant que convertisseur analogique numérique : savoir que les mesures sont faites par échantillonnage dans le temps et que les valeurs mesurées sont quantifiées (paliers de valeurs) • sm4 – connaître le principe d'une méthode de moindres carrés (non pondérée, telle la régression linéaire) • sm6 – connaître le principe de résolution numérique d'une équation différentielle du premier ordre (calcul approché par accroissement fini) 	<ul style="list-style-type: none"> • sm2 – connaître l'existence de paramètres d'acquisition : durée, intervalle de temps, nombre de points, mode de déclenchement • sm3 – connaître le principe de la "dérivation numérique" • sm5 – connaître les conditions d'utilisation d'une méthode de moindres carrés (non pondérée, en particulier la régression linéaire)

LES SAVOIR-FAIRE

		À acquérir en physique-chimie	
Pré-requis niveau 1	Pré-requis niveau 2	Évaluation en formation	Évaluation sommative
<ul style="list-style-type: none"> • i1 – savoir mettre en route l'ordinateur, l'imprimante... • i2 – savoir lancer/ quitter un logiciel spécifié (dans un environnement connu) • i3 – savoir entrer un nombre, une lettre, un mot dans une zone spécifiée... • i4 – savoir charger un fichier spécifié ou sauvegarder des résultats... • i5 – savoir se déplacer dans un menu de commandes, valider une commande • i6 – savoir renseigner une zone de saisie multiple • i7 – savoir utiliser un environnement Windows • i2 – savoir entrer une expression définie par une fonction mathématique et/ou des opérations arithmétiques • i3 – savoir définir de nouvelles colonnes dans un tableur ou un logiciel équivalent donné • i4 – savoir obtenir une représentation graphique spécifiée à partir d'un tableau de valeurs (pour un logiciel donné) 	<ul style="list-style-type: none"> • 17 – savoir utiliser un pointeur pour obtenir les coordonnées d'un point spécifique d'un graphique • 15 – savoir obtenir une courbe (graphique) à partir de l'expression mathématique d'une fonction donnée (pour un logiciel donné) ; (second ordre) • 19 – savoir utiliser une fonctionnalité spécifique 	<ul style="list-style-type: none"> • t1 – savoir reconnaître les différents éléments d'une chaîne de mesure informatisée • 18 – savoir utiliser une procédure/ commande de résolution numérique d'équation différentielle (entrée de l'expression du second membre et des valeurs "initiales", etc.) • m1 – savoir déterminer la précision de la mesure pour une quantification donnée et un calibre donné • m4 – savoir mettre en œuvre la régression linéaire sur un ensemble de données pour déterminer les valeurs des paramètres • m5 – savoir mettre en œuvre une méthode d'optimisation de modèle sur un ensemble de données pour déterminer des paramètres • m6 – savoir mettre en œuvre une méthode de résolution numérique d'équation différentielle 	<ul style="list-style-type: none"> • t2 – savoir faire la connexion sur une voie d'entrée spécifiée d'une interface ou sélectionner le calibre d'entrée spécifié de l'interface (ou de l'adaptateur de l'interface) • 11 – savoir conduire/contrôler une acquisition semi-automatique (déclenchement, validation clavier, entrée de valeurs au clavier, etc.) • l6 – savoir utiliser une procédure/ commande d'optimisation de modèle (entrer la fonction, sélectionner les bornes, lancer l'exécution, vérifier l'adéquation, réécrire les affichages, etc.) • m2 – savoir déterminer les paramètres d'une acquisition automatique ou semi-automatique • m3 – savoir utiliser une méthode de dérivation numérique ou d'intégration numérique (pour calculer une grandeur)

ANNEXE 2

UN SUJET DE NIVEAU TERMINALE S

(LE RÉGIME TRANSITOIRE DANS UN CIRCUIT R, L)

Nous présentons ici des extraits d'un sujet portant sur le régime transitoire dans un circuit R, L. Parmi les savoirs et savoir-faire que nous avons considérés comme "raisonnablement exigibles", ceux que nous avons visés à travers ce sujet sont les suivants :

- savoir faire la connexion sur une voie d'entrée spécifiée d'une interface ;
- connaître l'existence de paramétrages d'acquisition : durée, intervalle de temps, nombre de points, mode de déclenchement ;
- savoir paramétrer une acquisition automatique ;
- savoir utiliser une procédure/commande d'optimisation de modèles ;
- connaître les conditions d'utilisation d'une méthode des moindres carrés.

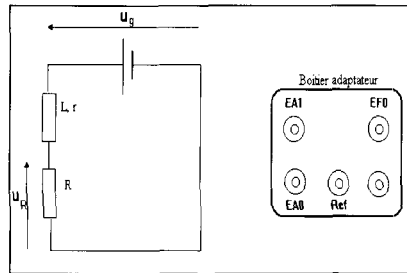
Première partie : évaluation de connaissances de savoir-faire

Dans cette partie les questions portent sur le principe de la mesure et sur les méthodes de modélisation. Par exemple :

Dans le travail expérimental qui vous sera donné ensuite, on demandera d'étudier les variations de l'intensité et de la tension u_b aux bornes d'une bobine, au cours de l'établissement d'un courant.

Pour cela on utilisera le circuit ci-contre.

Représenter sur le schéma les connexions à réaliser pour mesurer u_R sur EA0 et u_g sur EA1.



Dans le circuit donné, comment peut-on, à partir des mesures de u_g et u_R :

- a) obtenir la valeur de l'intensité qui le traverse ?
- b) obtenir la valeur de la tension u_b ?

On demandera de représenter des résultats expérimentaux par une fonction du type :

$$i = a*(1-\exp(-k*t))$$

Le logiciel permet de calculer les valeurs des paramètres a et k de façon à approcher au mieux les points expérimentaux. Ci-dessous, un exemple de résultat de l'optimisation logicielle :

$$a = 72.514\text{m} \pm 190\mu \qquad k = 121.07\text{m}1.30$$

$$\text{Écart relatif sur } i = 0.68 \%$$

Quelles sont les valeurs que l'on déduit pour les grandeurs a et k ?

On peut noter que, dans la dernière question, on attend que l'élève soit capable de présenter les résultats de a et k avec les unités et avec une écriture scientifique comportant un nombre de chiffres significatifs qui tienne compte de l'incertitude affichée.

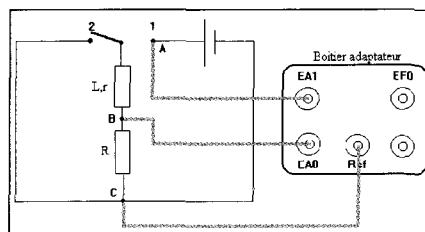
Deuxième partie : évaluation des savoir-manipuler

Dans la seconde partie, il s'agit pour l'élève de montrer ce qu'il sait faire : réaliser le circuit, effectuer les mesures, etc. Les consignes sont notamment :

Réaliser le montage correspondant au schéma ci-contre.

Régler les composants et calibres.

Réaliser une ou plusieurs acquisitions en choisissant les paramètres de façon à pouvoir faire apparaître la phase transitoire et le régime permanent.



Définir la variable $i = u_R/30$

Obtenir la représentation de $i(t)$.

Décrire et expliquer l'allure de $i(t)$.

On propose pour $i(t)$ le modèle suivant : $i = a(1 - \exp(-k.t))$

Donner ci-dessous les valeurs de a et k en utilisant le bon nombre de chiffres significatifs et en précisant les unités.

Quelles sont les conditions requises pour utiliser la méthode d'optimisation ci-dessus ? Sont-elles à votre avis vérifiées ici ?

Que représente a dans le phénomène étudié ? Quelle est son expression en fonction des grandeurs qui caractérisent le circuit ?

Le résultat est-il en accord avec les valeurs indiquées pour le montage ?

En correspondance avec la remarque précédente, on peut noter que, cette fois, la consigne pour l'écriture des résultats de a et k est explicite.

Extrait de la grille d'observation

I. PRÉPARATION

Les élèves choisissent-ils les bonnes voies dans le menu?	oui	non
Cherchent-ils à étalonner?	oui	non
Règlent-ils la durée et le nombre de points?	oui	non

II. MESURES

Vérifient-ils la bonne synchronisation?	oui	non
Discutent-ils la qualité de l'enregistrement?	oui	non
Ont-ils refait l'acquisition pour obtenir un résultat meilleur?	oui	non
Ont-ils su valider Fin pour garder les mesures?	oui	non

III. ANALYSE

Savent-ils définir i par Variable/ Nouvelle/ Fonction	oui	non
Savent-ils définir la variable dérivée?	oui	non
Utilisent-ils la commande Modélisation?	oui	non
Font-ils une sélection raisonnée de points?	oui	non
Entrent-ils bien l'expression littérale?	oui	non