

Enseigner la philosophie des sciences en DEUG scientifique : ressources et potentialités des travaux pratiques

Teaching philosophy of science at undergraduate level : resources and potentialities of laboratory work

Marie-Geneviève SÉRÉ

Groupe DidaScO
Université Paris Sud XI
Bâtiment 333
91405 Orsay cedex, France.

Dominique GALIANA

Lycée Agricole et Horticole de la Lande du Breil
Rue Fernand Robert
CS84233
35042 Rennes cedex, France.

Résumé

D'ici trois ans toutes les universités françaises auront mis en place un enseignement de philosophie des sciences en DEUG¹ scientifique. Cette

1. Le premier cycle universitaire français dure deux ans après le baccalauréat. Il conduit au DEUG (Diplôme d'Études Universitaires Générales). Son obtention permet la préparation de la licence.

décision a suivi la publication d'un rapport du Professeur Lecourt (1999). En s'appuyant sur des extraits significatifs de ce rapport, ainsi que sur des travaux récents sur l'image des sciences que les élèves emportent de leur scolarité au lycée, il est possible d'envisager des stratégies pédagogiques. En complément de cours magistraux préconisés jusqu'à présent, ce sont les ressources des travaux pratiques qui sont ici en question. On montre qu'il est possible de faire prendre conscience aux étudiants de méthodes expérimentales, de la variété des modèles en science, des relations complexes entre la théorie et l'expérience, bref d'une philosophie de l'expérimentation.

Mots clés : philosophie, épistémologie, éducation scientifique, première année d'université, travaux pratiques.

Abstract

Within three years, every French university will implement classes of philosophy of science at undergraduate level. This decision followed a report written by Professor Lecourt (1999). Significant extracts from this report will be quoted, as well as recent studies about the image of science that students draw from school time at Upper secondary school. Both of them allow to envisage pedagogical strategies. Complementary to lectures, as recommended so far, laboratory work as resources are questioned in this paper. What is put forth is that laboratory work may be the opportunity for students to become conscious of various experimental approaches, of the variety of models in science, of complex relationships between theory and experiment, in a nutshell of philosophy of experimentation.

Key words : philosophy, epistemology, scientific education, Undergraduate studies, laboratory work.

Resumen

En tres años, las universidades francesas habrán implantado una enseñanza de la filosofía de la ciencias en DEUG científico. Esta decisión fue publicada en un informe por el profesor Lecourt (1999). Apoyándose en resúmenes significativos de este informe, así como en trabajos recientes sobre la imagen de la ciencia que los alumnos traen de su escolaridad en el liceo, se hizo posible proponer estrategias pedagógicas. Como complemento de los cursos magistrales preconizados hasta el presente, se hace uso de los recursos de los trabajos prácticos. Esta presentación muestra que es posible hacer tomar conciencia a los estudiantes de métodos experimentales, así como también de la variedad de los modelos de la ciencia, y de las relaciones complejas entre la teoría y la experiencia, en resumen, de una filosofía de la experimentación.

Palabras claves : *filosofía, epistemología, educación científica, primer año de universidad, trabajos prácticos.*

Avant de quitter l'arène politique, et de se décharger du poids du Ministère de l'Éducation nationale française, le Professeur Claude Allègre prit une décision d'une grande originalité : il allait falloir enseigner la philosophie des sciences à l'Université ! Cinq postes d'enseignants-chercheurs étaient créés et les universités disposaient de trois années pour mettre en place cet enseignement. Cette décision a été l'objet de débats avant de passer à l'arrière-plan des préoccupations des débatteurs avec l'arrivée d'un nouveau Ministre. Une des questions était et reste : qui fera cet enseignement ? Nous voudrions apporter ici le point de vue de praticiens, enseignants de biologie ou de physique, et de chercheurs en didactique. Nous défendons en effet l'idée que toute expérience mise en scène, lors de travaux pratiques notamment, exhibe une relation spécifique entre les données de l'expérience (observations ou mesures), les élaborations théoriques, et les conclusions qu'on en tire. Il serait naïf de penser cette relation comme s'établissant entre deux « mondes » (la réalité et le monde des idées) différents et nettement séparés. Il n'est que de penser aux instruments de mesure qui sont du côté du réel et qui sont « *des théories réifiées* » (Bachelard, 1966). Les relations sont complexes et nous défendrons l'idée que c'est de la bonne philosophie que de regarder de près cette relation complexe dans quelques cas particuliers, faisant partie du vécu des étudiants. C'est à partir des éléments liés à la pratique expérimentale, considérés comme une base de discussion, qu'une réflexion philosophique plus approfondie pourra être initiée.

1. LE RAPPORT LECOURT : L'ENSEIGNEMENT DE LA PHILOSOPHIE DES SCIENCES (1999). EXTRAITS DES HYPOTHÈSES ET ATTENDUS

Dans son rapport réalisé grâce à de nombreuses consultations menées dans les universités françaises, le Professeur Lecourt situe d'emblée le débat scientifique au plan social.

« Le débat social autour de la science ne trouve guère d'écho dans l'enseignement scientifique.

Les étudiants peuvent ainsi avoir le sentiment d'un profond hiatus entre la science qu'ils apprennent et la société où ils seront appelés à mettre en œuvre les compétences qu'ils auront acquises au terme d'études extrêmement lourdes.

Il semble qu'on s'accorde à considérer que la philosophie des sciences retient mieux l'attention des élèves ingénieurs dès lors qu'on l'arrime à une réflexion philosophique générale mettant en jeu l'esthétique et l'éthique autant que la politique ou l'économie. » (Lecourt, 1999, p. 13).

Mais il souligne aussi que c'est une meilleure connaissance de « la pensée scientifique » qui permet de communiquer avec les autres formes de pensée, technique, artistique, politique, éthique.

Il s'agit de « (...) *dégager les ressorts philosophiques de la pensée scientifique.* » (Lecourt, 1999, p. 24).

Quand le Professeur Lecourt évoque ses rencontres avec des universitaires, il conclut à la nécessité de ne pas alourdir les programmes, au nom desquels la communauté universitaire pourrait rejeter ce nouvel enseignement. Il s'agit alors de « (...) *montrer aux étudiants ce mouvement de la connaissance* ». (Lecourt, 1999, p. 23).

L'idée que nous défendons est de répondre à ces préoccupations en profitant de l'enseignement lui-même pour y voir les étapes de ce mouvement. On trouve alors l'affirmation suivante qui nous paraît cruciale : « *Si les physiciens avaient, par exemple prêté plus d'attention aux ressorts philosophiques de la pensée scientifique, certaines voies de recherche n'auraient pas été désertées pour être retrouvées par les chercheurs aux prix de grandes difficultés théoriques, avec parfois cinquante ans de retard, comme on a pu le voir en physique à propos du phénomène de dépendance sensible aux conditions initiales déjà théorisé par Poincaré et Hadamard au tout début du XXème siècle. Une philosophie des sciences apparaît ainsi toujours susceptible d'ouvrir l'esprit des chercheurs à l'éventualité d'autres voies de recherche que celles qui, à un moment donné, mobilisent leur communauté.* » (Lecourt, 1999, p. 24).

C'est bien l'idée que la philosophie des sciences ne se limite pas à regarder hors du laboratoire, et à penser la façon dont le corps social prend en compte ses résultats et sa pensée. C'est l'idée que la philosophie se doit de considérer le fonctionnement de la science et des scientifiques et peut participer à ce qu'ils suivent des voies plus efficaces. Le Professeur Lecourt le souligne : « (...) *un enseignement de philosophie des sciences, pour peu qu'on le conçoive en prise directe sur les problèmes qu'affrontent les diverses disciplines, (...) s'avérerait ainsi utile à la recherche elle-même.* » (Lecourt, 1999, p. 25).

L'impact de la philosophie des sciences dans ses relations avec la technologie et les applications telles l'agriculture, est également clairement souligné.

2. LES LEÇONS À TIRER D'ENQUÊTES SUR L'IMAGE DES SCIENCES DES ÉTUDIANTS : chaque situation d'expérimentation donne une représentation paradigmatique de la science à laquelle elle participe

En France et plus encore à l'étranger, ces dernières années, on a vu se développer en didactique des enquêtes destinées à répondre à la question suivante : quelle image les élèves, les étudiants et les professeurs se font-ils du fonctionnement des sciences ? Les objectifs et hypothèses sous-jacentes ont été variés. Beaucoup visaient à détecter le décalage qui existe bien souvent entre la réalité du fonctionnement social des sciences (le poids de la communauté scientifique dans la validation des avancées de la science, évoqué par D. Lecourt comme on l'a vu ci-dessus) et l'image que les personnes s'en font (Nott & Wellington, 1993). Dans certains pays comme le Canada, ces enquêtes ont eu une réelle influence sur les programmes : le socio-constructivisme a fortement teinté la formation des enseignants et a ainsi pénétré l'École et l'Université.

D'autres enquêtes ont reposé sur l'idée, le plus souvent implicite, que chaque individu a des convictions épistémologiques, non formulées, mais qui sont sous-jacentes à la façon dont il articule théorie et expérience, et dont il traite les données. Des enquêtes ont ainsi montré le réalisme des enseignants de physique, leur inductivisme spécialement en France, et le plus souvent, leur positivisme. Cependant, les questions s'affinant peu à peu, les interprétations des réponses s'affinèrent elles aussi (Leach et al., 2000). On en vient actuellement à ne plus interpréter les réponses en termes de positions épistémologiques. L'influence de la question est reconnue, mais plus encore celle de la situation elle-même. On met ainsi en évidence la variété des liens théorie-expérience, et l'importance de présenter des situations qui fassent comprendre cette variété et cette richesse. Il reste donc à exploiter l'idée que les situations elles-mêmes, par exemple celles rencontrées en TP, induisent des réponses manifestant une épistémologie, c'est-à-dire une relation théorie-expérience, qui leur est spécifique.

L'idée serait donc qu'il ne faut pas mettre de côté ce que l'enseignement de lycée et de début d'université imprime dans l'esprit des élèves et étudiants. L'idée serait que les situations présentées au lycée et en DEUG participent réellement à former progressivement une image de la science. Il s'agit peut-être même de présenter, voire de commenter, les dites situations pour qu'elles deviennent efficaces de ce point de vue. En l'occurrence, il faut se garder de penser pouvoir se cantonner à une seule branche des sciences au détriment des autres. La physique, la chimie, les sciences de la Vie et de la Terre, font partie du vécu des lycéens et sont toutes candidates pour participer à l'image des sciences des citoyens. On

peut noter cependant un fonctionnement différent des programmes suivant les disciplines. Les réformes successives font évoluer de la proximité de la vie courante (la chimie des jardins a été récemment à l'honneur) à la proximité de la science telle qu'elle se fait. Ainsi C. Allègre (2000) s'étonne de retrouver dans les manuels de lycée des résultats de ses propres recherches. Alors que nécessairement en physique, ce sont ceux de Newton qui doivent d'abord être étudiés.

La leçon de ces enquêtes est que les enseignements du lycée et du DEUG ont pouvoir à former l'image des sciences chez les étudiants et les préparer à comprendre ce que les médias leur apporteront d'information scientifique dans l'avenir. Nous allons donner quelques exemples de l'exploitation, en ce sens, des activités expérimentales du lycée ou du DEUG.

Réaffirmons une nouvelle fois que la pratique expérimentale en TP, ou en recherche, peut et doit être complétée par des exemples tirés de l'histoire des sciences. Ceci afin de contribuer à enrichir le débat par la multiplicité des situations à analyser sur le plan de la philosophie des sciences.

3. L'AUTHENTICITÉ DES SITUATIONS ET DES DÉMARCHES EXPÉRIMENTALES DANS L'ENSEIGNEMENT

La difficulté est alors de faire « vivre » dans l'enseignement des relations théorie-expérience-conclusions, qui aient un caractère d'authenticité. Ce n'est pas simple, à en croire une étude de la transposition didactique réalisée par les TP de physique au lycée (Richoux, 2000). Les similarités entre les situations de TP au lycée et les activités scientifiques résident essentiellement dans l'utilisation des mêmes instruments. Mais les démarches s'avèrent très différentes de ce qui se passe dans la réalité du laboratoire.

Ce que nous proposons ici est une exploitation des travaux pratiques dirigée vers la compréhension des démarches dans leur complexité, comme base d'enseignement de la philosophie des sciences. Cela suppose de se résoudre parfois à mettre de côté l'acquisition de concepts, théories et modèles au profit des méthodes et démarches. Cela peut se faire en travaux pratiques. Dans un certain nombre de cas, il peut s'avérer utile de s'appuyer sur des activités de type travaux dirigés en analysant sur documents la pratique expérimentale conduite par des chercheurs. Il faut pour cela, connaître la problématique envisagée, le protocole expérimental mis en jeu, les résultats obtenus et les conclusions qui en ont été tirées.

4. LA DÉMARCHE DE MODÉLISATION ET LA VARIÉTÉ DES MODÈLES

On peut se réjouir que les modèles soient de plus en plus présents dans le langage pédagogique et didactique. En effet, prenant la définition de base selon laquelle un modèle est une représentation simplifiée de la réalité sur laquelle un chercheur peut effectuer des mesures et des tests qui ne peuvent l'être sur les objets réels, on voit que c'est bien l'activité fondamentale de tout scientifique. Pour comprendre cette notion en profondeur, il faut aller au-delà de l'idée et en connaître des exemples les plus variés possible.

Il est des modèles mathématiques et d'autres, en chimie ou biologie par exemple, qui ne le sont pas. Il y a des modèles explicatifs (les lois de Newton par exemple en mécanique) et d'autres qui ne le sont pas (modèles de comportement en mécanique des fluides ou modèles structuraux simulés sur ordinateur en stéréochimie). Contrairement à ce qui se passe en physique, on trouve en biologie beaucoup de modèles analogiques liés à une ressemblance de fonction entre objets différents. Par exemple un axone est comparé à un conducteur électrique. De nombreux modèles en biologie sont dérivés de la cybernétique. La figure située en annexe, illustre, à travers leur schématisation, la variété de modèles que l'on peut faire « rencontrer » aux élèves et étudiants. Les faire intervenir dans l'enseignement non seulement pour les faire apprendre mais aussi pour illustrer la démarche de modélisation pourrait constituer une part, non exclusive, mais non négligeable de l'enseignement de philosophie des sciences.

5. LA SÉPARATION DES VARIABLES, LA CONSTITUTION DE TÉMOINS EN VUE DE COMPARAISONS, LE PASSAGE DU PARTICULIER AU GÉNÉRAL : UNE CERTAINE PHILOSOPHIE DE L'EXPÉRIMENTATION

Tels sont quelques-uns des éléments de démarche qu'il est indispensable de comprendre pour avoir une vision intelligente des résultats avancés par les scientifiques et le plus souvent communiqués par les médias.

La physique fournit des exemples fondamentaux de telles démarches : dès l'école primaire il est possible de faire varier un paramètre expérimental en maintenant les autres constants, par exemple en faisant flotter deux bateaux de même forme, l'un en pâte à modeler et l'autre en polystyrène expansé. Plus tard dans la scolarité, les situations sont plus complexes et, si on n'attire pas l'attention des étudiants sur des modalités

de séparation des variables, on constate qu'elles sont bien peu mobilisables dans l'esprit des étudiants. De même les méthodes de contrôle des variables ne s'installent guère dans la tête des étudiants si on ne valorise pas en tant que telle la méthode (par exemple lors de la mise en œuvre de « méthodes de zéro » en mesures électriques).

Pendant les mêmes éléments de démarches posent des problèmes redoutables en biologie. La complexité est une caractéristique incontournable du vivant. Or elle résulte de l'impossibilité de séparer les variables biologiques.

« Est-il possible d'analyser le déterminisme d'un phénomène en l'isolant, puisqu'on observe sur un tout qu'altère en tant que tel toute tentative de prélèvement ? Il n'est pas certain qu'un organisme, après ablation d'organe (ovaire, estomac, rein) soit le même organisme diminué d'un organe. Il y a tout lieu de croire, au contraire que l'on a désormais affaire à un tout autre organisme, difficilement superposable, même en partie à l'organisme témoin. » (Canguilhem, 1965, p. 29).

Tenir compte de l'intégralité du vivant impose une approche systémique qui s'oppose par ses méthodes à l'analyse qui opère plutôt par réduction des difficultés. Mais retenir une approche systémique impose de revenir au tout pour tenir compte de l'intégration du vivant qui reste incontournable.

La réflexion des élèves et des étudiants doit aussi porter sur la spécificité des formes vivantes qui complique le travail du biologiste. En effet, les résultats d'une expérimentation réalisée sur une espèce ou une variété particulière ne sont pas généralisables sans difficultés à une autre variété ou à une autre espèce. L'une des méthodes pour pallier cet inconvénient est de recourir à un modèle animal ou végétal. Lorsque aucun modèle n'est trouvé, on utilise des organismes moins « intégrés », c'est-à-dire moins complexes. Les résultats obtenus chez ces organismes ne sont pas transférables à d'autres espèces. Mais, ils servent de guide dans l'exploration des fonctions chez les organismes supérieurs.

L'individualisation pose encore un autre problème aux biologistes. Comme le souligne Claude Bernard, l'expérimentation consiste souvent en une comparaison entre deux états. C'est la comparaison qui permet d'obtenir, dans ce cas, des résultats. Mais pour pouvoir comparer, il faut travailler sur des objets aussi identiques que possible. Par conséquent, les comparaisons devront se faire avec prudence et prendre en compte la variabilité du vivant. On sait alors la difficulté de passer de l'expérimental au « normal », du pathologique au normal, du génétiquement modifié aux organismes naturels.

Pour prendre en compte ces difficultés, dont tout étudiant doit avoir conscience, il faut envisager l'utilisation de méthodes d'investigation spécifiques. C'est un point de départ intéressant, nous semble-t-il, pour initier une réflexion épistémologique.

Cependant les démarches de comparaison existent dans toutes les branches de la science. Elles ne s'improvisent pas et peuvent être objet de réflexion. Ainsi, quand elles intègrent le facteur temps, elles supposent des précautions spécifiques. C'est aussi là ce qui différencie les sciences biologiques des sciences physiques où les phénomènes sont souvent réversibles dans le temps. Ce n'est absolument pas le cas en biologie. Non seulement deux organismes vivants ne sont pas identiques même s'ils appartiennent à la même espèce, mais un même organisme n'est pas superposable à lui-même au cours du temps ! Soumis au vieillissement ou à un environnement différent, le même objet d'une expérimentation pourra par conséquent avoir des réponses différentes voire opposées. Pour contourner ce problème les biologistes utilisent des témoins. Le témoin permettra d'établir des comparaisons et d'intégrer les évolutions temporelles.

On aimerait voir discuter de constitution de témoins tant en physique qu'en biologie, et de façon comparative entre disciplines.

6. LA PLACE DU DÉTERMINISME ET DU HASARD DANS LES SCIENCES. L'INTRUSION DES STATISTIQUES COMME SUPPORT AUX CONCLUSIONS DES SCIENTIFIQUES

Toujours dans le but de réduire la variabilité individuelle, omniprésente en biologie, il est devenu légitime dans de nombreux cas de réaliser une évaluation statistique. On sait qu'en traitant un nombre assez grand d'organismes vivants dans des conditions aussi proches que possible, il est admis de conclure à l'aide de tests statistiques. Ils permettront d'évoquer un comportement moyen vis-à-vis de tel ou tel facteur. C'est de cette vision que dérivent les notions de facteurs de risque en épidémiologie.

Quand cette notion est abordée, on touche alors à celle de causalité. En effet l'exposition à un facteur de risque augmente la probabilité de développer telle ou telle maladie. Mais il ne s'agit que de probabilité et pas de causalité stricte. Le fait que certains organismes non exposés aux facteurs de risque puissent néanmoins développer la maladie en question, n'est pas simple à comprendre pour des élèves et des étudiants dotés uniquement d'une vision purement déterministe.

On conçoit la pertinence de l'étude de la causalité en philosophie des sciences, accompagnée de celle du déterminisme, du concept de hasard et du domaine de légitimité des statistiques. Or la physique et la chimie au lycée sont parfaitement déterministes. Elles donnent une image d'un monde régi par des lois sans surprise (« les mêmes causes produisent les mêmes effets ») que la science se donne pour but de découvrir peu à peu dans leur immuabilité.

Les inspecteurs, les enseignants et les didacticiens se sont souciés d'introduire progressivement quelques idées alternatives à cette vision simpliste. Ainsi, en classe de terminale S (réforme de 1992), des phénomènes non-déterministes sont-ils abordés à propos de la modélisation des systèmes oscillants. Mais cela peut également se faire en travaux pratiques par exemple par le traitement statistique des mesures. La non-reproductibilité des mesures est en effet une constatation qui cadre mal avec le déterminisme. Une recherche en didactique (Séré et al., 1993) a pu pointer le type de difficultés que les étudiants ont à concevoir la place des statistiques en physique. Ce n'est pas la complexité de l'appareil mathématique (le calcul des écarts moyens quadratiques ou d'un intervalle de confiance) qui est en cause. C'est bien la légitimité des statistiques, et l'intervention du hasard dans cette discipline réputée déterministe, qui faisait problème. Il faut noter que dans le domaine des traitements de données, c'est l'évaluation, le jugement qui intervient, non une vérité unique et reconnue comme telle. En effet des praticiens peuvent ne pas être d'accord sur l'utilisation d'un test statistique (t de Student par exemple) ou non. Ils se reconnaissent le droit de juger de la pertinence de tel ou tel traitement de données. C'est donc bien le lieu où l'étudiant peut toucher du doigt à quel point la science, loin d'être une vérité immuable, requiert jugement et imagination associés à la rigueur.

Ainsi les séances de travaux pratiques, pendant lesquelles les étudiants passent un temps non négligeable à faire des mesures, sont un lieu privilégié pour faire réfléchir sur les prises de données, les méthodes permettant d'en tirer des conclusions et la prudence pour présenter des résultats. Les notions de risque et de confiance devraient, par une réflexion spécifique, sortir du domaine des statistiques pour trouver leur juste place dans les sciences, et donc être comprises de façon scientifique quand elles interviennent dans la vie courante (on associe volontiers de nos jours la notion de « précaution » à celle de risque). Cette première réflexion sur l'utilisation des statistiques, pour conclure, devrait être prolongée, dans un souci de cohérence et de synthèse, par la présentation des raisonnements statistiques et probabilistes dans les domaines avancés des sciences, tels la physique des particules.

7. CONCLUSION

Nous avons défendu le point de vue que les séances de travaux pratiques au lycée et plus encore en début d'université, recèlent une grande richesse de situations qui peuvent susciter la réflexion philosophique. Mais ces richesses sont rarement mises en valeur de ce point de vue, car les enseignants n'ont guère l'habitude d'attirer l'attention des étudiants sur les choix qui ont été faits, en termes de recueil des données, modélisation, théorisation, validation des résultats. L'exploitation des travaux pratiques en ce sens requiert un réel travail qui serait d'autant plus riche qu'il serait interdisciplinaire. Il y a là potentiellement un regain d'intérêt pour les travaux pratiques dont l'animation pourrait être conçue et préparée en équipe pluridisciplinaire.

Bien sûr, la pratique expérimentale ne permet pas, à elle seule, la construction d'une idée plus conforme à la réalité, de ce qu'est la science et de sa philosophie. Mais elle peut fournir une base de discussion permettant une analyse plus approfondie et plus concrète des problèmes philosophiques posés.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLÈGRE C. (2000). *Toute vérité est bonne à dire*. Paris, Fayard-Laffont.
- BACHELARD G. (1966). *Le rationalisme appliqué*. Paris, PUF.
- BÉCU-ROBINAULT K. & TIBERGHIE A. (sous presse). Introduction of the power concept (traditional labwork). In D. Psillos & H. Niedderer (Éds), *Teaching and learning in the science laboratory*. Dordrecht, Kluwer.
- CANGUILHEM G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris, Vrin.
- LEACH J., MILLAR R., RYDER J. & SÉRÉ M.-G. (2000). Epistemological understanding in science learning: the consistency of representations across contexts. *Learning and Instruction*, vol. 10, n° 6, pp. 497-527.
- LECOURT D. (1999). L'enseignement de la philosophie des sciences. *Rapport au Ministre de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie.
- NOTT M. & WELLINGTON J. (1993). Your nature of science profile : an activity for science teachers. *School Science Review*, vol. 75, n° 270, pp. 109-112.
- RICHOUX H. (2000). *Rôle des expériences qualitatives dans l'enseignement de la physique au lycée*. Thèse de doctorat, Université Denis Diderot-Paris 7.
- SÉRÉ M.-G., JOURNEAUX R. & LARCHER C. (1993). Learning statistical analysis of measurement errors (First year of University). Students' conceptions and obstacles. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 4, pp. 427-438.

Les programmes de sciences des classes de lycée se trouvent sur le site www.education.gouv.fr

REMERCIEMENTS

Ce point de vue est né de nombreuses discussions avec des chercheurs en didactique français et étrangers, s'affrontant ensemble au but difficile d'améliorer les travaux pratiques. Le travail a été prolongé avec une équipe étrangère qui a manifesté surprise et intérêt pour cet enseignement naissant de philosophie des sciences. Nous remercions John Leach et Jim Ryder (LIS group, Université de Leeds, UK) pour de nombreuses et fructueuses discussions.

ANNEXE

