

Enseigner les pratiques effectives de la science : expériences d'étudiants en projet de recherche de licence

Teaching the actual practices of science : students' experiences of undergraduate research projects

Jim RYDER, John LEACH

Learning in Science Research Group
Centre for Studies in Science and Mathematics Education
School of Education
University of Leeds
Leeds LS2 9JT, U.K.

(Traduit par Anne-Marie Servranckx)

Résumé

Cet article décrit une étude de cas basée sur des entretiens avec des étudiants de 20 à 22 ans à propos de leur expérience de projet de fin d'études en science à l'université. Nous examinons comment, par leur travail de projet, les étudiants développent leur compréhension des pratiques effectives de la science, c'est-à-dire des différents moyens utilisés par les scientifiques pour développer le savoir scientifique et les procédures de recherche. Nous donnons des exemples de connaissances explicites et implicites tels qu'on les rencontre dans un travail de projet. Nous indiquons que les messages implicites communiqués aux étudiants pendant leur travail de projet influencent de manière significative leur apprentissage des pratiques effectives de la science.

Mots clés : épistémologie, nature de la science, licence, projets de recherche, acculturation.

Abstract

In this paper we give details of a longitudinal interview study of students' experiences of project work involving twelve final year university science students aged 20 to 22 years. We consider how these students, as a result of project work, develop their understanding of the actual practices of science – the various ways in which scientists work with and develop scientific knowledge and investigative procedures. Details of both explicit knowledge and tacit knowledge communicated through project work are presented. It is suggested that student learning about the actual practices of science is significantly influenced by implicit messages about science communicated to students during project work.

Key Words : epistemology, nature of science, undergraduate, investigative project, enculturation.

Resumen

Este artículo describe un estudio de casos basado en las entrevistas a estudiantes de 20 a 22 años sobre la experimentación en su «proyecto de final de carrera de ciencias» en la Universidad. Examinamos cómo, por su trabajo de proyecto, los estudiantes desarrollan su comprensión de las prácticas reales de la ciencia, es decir de los diferentes medios de los que se valen los científicos para ampliar los conocimientos científicos y los procesos de investigación. Damos algunos ejemplos de los conocimientos explícitos e implícitos tales como aparecen en un proyecto. Indicamos que los mensajes implícitos, comunicados a los estudiantes durante sus proyectos, influyen de manera significativa en su aprendizaje de las prácticas reales de la ciencia.

Palabras claves : epistemología, ciencia, «licencia», proyecto de investigación, cultura.

INTRODUCTION

En Grande-Bretagne, pendant la licence en sciences qui dure 3 à 4 ans, les étudiants se spécialisent dans un sujet unique. S'ils entrent à l'université directement après l'école, ils obtiennent leur licence à l'âge de 21-22 ans. Pendant les 2 ou 3 premières années de leur cursus universitaire, ils étudient la discipline scientifique qu'ils ont choisie au travers d'un ensemble de cours magistraux, de travaux dirigés, de séances d'exercices, d'activités expérimentales ou de classes de terrain. Au cours de la dernière année, les étudiants poursuivent le même programme mais l'activité expérimentale est remplacée par des projets de recherche. Ces projets

permettent aux étudiants d'entreprendre des recherches, souvent originales, ouvertes et empiriques, en tant que membres de groupes de recherche professionnelle dans les universités. Ces projets sont caractéristiques de la licence ; ils donnent aux étudiants une occasion unique de se former aux pratiques effectives de la science, aux moyens utilisés par les scientifiques pour travailler et développer la connaissance scientifique, rechercher des procédures, tout en étant intégrés dans un volet de la pratique scientifique professionnelle.

Dans cet article, nous nous sommes basés sur une étude des expériences des étudiants en projet de recherche pour montrer différentes voies par lesquelles les étudiants peuvent se former aux pratiques effectives de la science en réalisant un travail de projet. Cette publication commence par une définition des pratiques effectives de la science en tant que partie importante du programme de licence. Ensuite nous soulignons les questions de la recherche dont cet article rend compte. Suit une description de la recherche menée au cours des expériences des étudiants pendant leur travail de projet. Nous présentons ensuite un aperçu des moyens par lesquels les étudiants apprennent ce que sont les pratiques effectives de la science au cours de leur travail de projet, en illustrant les points clés par des épisodes relatés dans notre étude. Enfin, nous discutons quelques implications pédagogiques et nous abordons d'autres contextes de programme de licence dans lesquels les étudiants peuvent aussi se former aux pratiques effectives de la science.

1. LES PRATIQUES EFFECTIVES DE LA SCIENCE TELLES QU'ABORDÉES DANS LE PROGRAMME DE LICENCE

L'enseignement de la licence en sciences se fixe principalement comme centre d'intérêt **les contenus de la science**. Ceci comprend les lois, les modèles, les concepts et théories d'une discipline. La sélection naturelle, la loi des gaz parfaits, la mécanique quantique et la tectonique des plaques sont différents exemples de ces contenus scientifiques. Les contenus de savoir font l'objet de manuels et forment le matériel de base des cours magistraux. Les programmes de licence s'intéressent aussi aux **méthodes de la recherche scientifique**. Ceci implique l'utilisation adéquate du matériel expérimental et des procédures, ainsi que des considérations sur la façon de concevoir la recherche et l'analyse des données expérimentales. Au cours de la licence, les étudiants vont avoir beaucoup à assimiler concernant les contenus et la méthode de la discipline scientifique choisie.

L'apprentissage des contenus et des méthodes d'investigation de la science constitue une part significative de la formation de la licence en science. On peut le considérer à deux niveaux. Au premier niveau, l'apprentissage des contenus scientifiques consiste à acquérir une connaissance des théories particulières et des lois et être capable de les utiliser pour expliquer quelques phénomènes choisis à titre d'exemples. Ainsi un étudiant en physique doit pouvoir manipuler les variables de la loi des gaz parfaits et réaliser des calculs de changements de pression et de volume à température constante. Au second niveau, l'apprentissage des contenus scientifiques nécessite la compréhension de l'utilisation, par les scientifiques, du savoir scientifique. Comment les scientifiques font-ils des approximations et appliquent-ils des conditions limites lorsqu'ils utilisent des idées théoriques pour résoudre des problèmes réels ? Comment les scientifiques déterminent-ils si les données expérimentales confortent ou contredisent les prédictions du modèle scientifique ? Selon l'exemple précédent, et à ce second niveau, cela signifie, pour l'étudiant qui apprend les lois des gaz parfaits, d'apprécier pour quelles pressions ces lois restent valides et de réaliser comment modifier ces lois pour rendre compte du comportement des gaz en-dehors de ces limites (pour un exemple en sciences biologiques voir Ryder & Leach, 1996).

De même, l'apprentissage des méthodes scientifiques peut être considéré à deux niveaux. Par exemple, au premier niveau, les étudiants apprennent comment réaliser des procédures de laboratoire en utilisant du matériel et des échantillons standard. Au second niveau, les étudiants apprennent comment les scientifiques, dans leurs pratiques, utilisent ces procédures de laboratoire avec du matériel et des échantillons hors standards pour aborder des problèmes originaux. Ceci nécessite des manipulations très prudentes pour obtenir des résultats fiables, ainsi qu'un mode opératoire précis pour obtenir une validité maximale. Apprendre les méthodes scientifiques au second niveau, consiste aussi à réaliser comment les scientifiques déterminent si les résultats d'une expérience sont fiables et valides et choisissent, parmi différentes procédures expérimentales, celle qui est adéquate dans des conditions particulières.

Aux deux niveaux considérés, l'objectif de l'apprentissage en sciences du contenu et des méthodes est de faire passer les étudiants du stade novice au stade expert. Les étudiants vont développer leur compréhension des pratiques effectives de la science, c'est-à-dire des différents moyens utilisés par les experts en science pour travailler, développer les contenus et les méthodes scientifiques dans le contexte de leur pratique professionnelle.

Pour étudier les contenus et les méthodes scientifiques au premier niveau, les étudiants peuvent trouver tout ce dont ils ont besoin dans les

livres et manuels de laboratoire. Mais, au second niveau, comme nous le montrons plus loin, utiliser les contenus et les méthodes nécessite d'explicitier aux étudiants des aspects de **la nature de la science**. Des analyses de la nature de la science, faites antérieurement, ont montré qu'il n'existe pas un seul point de vue capable de rassembler une large adhésion (pour une revue accessible, voir Chalmers, 1982). Ceci met en évidence la difficulté, pour les enseignants en science, d'explicitier les pratiques effectives de la science à l'intérieur de leur discipline.

Un des aspects importants des pratiques effectives de la science est une compréhension de la nature du savoir scientifique. Les théories scientifiques sont reliées aux phénomènes du monde réel, bien qu'elles en soient distinctes. Une théorie comprend souvent nombre d'hypothèses et d'approximations qui limitent l'extension de son application aux phénomènes du monde réel. En outre, différents types de connaissances sont utilisés dans différentes disciplines pour atteindre des buts différents. Dans certains cas, les idées théoriques jouent un rôle central : par exemple, dans le cas des scientifiques qui cherchent à produire un modèle théorique capable d'expliquer des phénomènes observés, ou lorsqu'ils conçoivent les investigations à mener pour choisir entre des idées théoriques qui se contredisent. Dans d'autres cas, les idées théoriques restent en arrière-plan : par exemple, lorsqu'il s'agit de produire des mesures extrêmement précises de phénomènes, l'important est de pouvoir développer de nouvelles techniques d'investigation menant à la précision souhaitée. Les étudiants, confrontés aux contenus scientifiques tels que décrits au second niveau, devront approfondir leur connaissance de la nature du savoir scientifique dans leur discipline.

Le deuxième aspect des pratiques effectives de la science concerne la nature de la recherche scientifique. Les données expérimentales et d'observation ont, bien sûr, une très grande importance dans la production et la validation de toute connaissance scientifique nouvelle, mais il faut aussi tenir compte des perspectives théoriques du chercheur et des points de vue nouveaux que peut générer une recherche. L'autre élément de la nature de la recherche scientifique qu'il faut prendre en compte est le rôle des programmes de recherche : l'ensemble des questions et des points de vue théoriques auxquels la communauté des chercheurs adhèrent et qui détermine la légitimité des problèmes proposés à la recherche. Il existe une distinction importante entre «*la science toute faite*» et «*la science en action*» (Latour, 1987). Dans l'apprentissage des contenus scientifiques, au premier niveau, la connaissance scientifique est présentée comme un ensemble de faits acceptés, «nettoyée» de toute les incertitudes et des chemins obscurs qui ont caractérisé son parcours jusqu'à l'adhésion par la communauté scientifique. Cependant, ces chemins obscurs et ces incertitudes font partie du quotidien des pratiques effectives de la science et l'étudiant les rencontrera

lorsqu'il étudiera les méthodes scientifiques, au second niveau. Par exemple, les scientifiques qui utilisent des techniques expérimentales exigeant du matériel très précis doivent acquérir une très grande compétence dans le maniement des techniques et des appareils utilisés, avant d'être capables de produire des données fiables et valides.

Le dernier aspect des pratiques effectives de la science qui est rarement explicité est le fonctionnement de la science comme activité sociale. De nombreuses raisons sociales entrent en jeu dans la justification de la déclaration de nouvelles connaissances : par exemple, la recension par les pairs des articles de recherche soumis à publication et le statut au sein de la communauté scientifique de ceux qui proposent une nouvelle connaissance. De plus, on peut aussi considérer la science en tant qu'activité sociale à l'intérieur des laboratoires de recherche, au sein des interactions complexes entre techniciens, étudiants-chercheurs et chercheurs professionnels. Cette culture de l'activité scientifique constitue un des aspects importants des pratiques effectives de la science (Ziman, 1995).

2. LA SIGNIFICATION DE L'APPRENTISSAGE DES PRATIQUES EFFECTIVES DE LA SCIENCE

Apprendre les pratiques effectives de la science par une prise de conscience croissante de la nature de la science est considéré comme un but important du programme à tous les niveaux de l'éducation en science (Millar, 1989 ; AAAS, 1990 ; Van Heuvelen, 1991 ; Matthews, 1994). Nous énonçons ici trois raisons de prendre comme objectif important de la licence celui d'initier les étudiants à une compréhension des pratiques effectives de la science. D'abord, tout étudiant qui se destine à la recherche et compte y faire carrière ne peut que bénéficier de ces aperçus sur la manière de travailler des scientifiques du point de vue des contenus et des méthodes. Deuxièmement, beaucoup de diplômés en sciences feront des carrières proches des sciences : enseignant en science, journaliste scientifique, hommes et femmes d'affaires, chargé de l'administration et de la politique du développement scientifique. Pour ces étudiants, ces considérations sur les pratiques effectives de la science seront aussi importantes pour leur future carrière. Par exemple, les journalistes qui doivent côtoyer chaque jour des scientifiques tireront profit d'une meilleure connaissance des motivations et des pratiques des scientifiques. De plus, pour les enseignants en science, l'introduction aux différentes façons par lesquelles les scientifiques développent et maîtrisent la connaissance les aideront à rendre vivant et à contextualiser leur enseignement. Le troisième argument prend en compte l'aide que cet enseignement des pratiques effectives de

la science apporte aux étudiants de licence eux-mêmes pour réaliser leurs travaux. Souvent des tâches courantes données aux étudiants de licence requièrent une compréhension en profondeur de la manière propre aux scientifiques d'approcher les problèmes. Cette compréhension doit s'ajouter à la connaissance de la matière de base du sujet.

3. POINT CENTRAL DE LA RECHERCHE

Il existe de nombreuses études concernant les idées des élèves sur les divers aspects des pratiques effectives de la science (Larochelle & Désautels, 1991 ; Driver et al., 1996 ; pour une revue voir Lederman, 1992). Mais il y a peu d'études sur celles des étudiants de niveau universitaire (Fleming, 1988 ; Séré et al., 1993 ; Ryder et al., 1997), et encore moins sur le développement de ces idées.

Dans cette étude, nous cherchons à relier les expériences d'un petit échantillon d'étudiants, pris dans un contexte d'enseignement précis, au développement de leur compréhension des pratiques effectives de la science. Nous nous basons sur quelques études de cas "longitudinales" des expériences d'étudiants de licence au cours du travail de leur projet de fin d'études à l'université de Leeds en Grande-Bretagne. Comme il est montré dans la partie quatre, de tels projets mettent les étudiants dans les conditions d'un véritable apprentissage des pratiques effectives de la science.

Le point de vue développé ici met l'accent sur :

- les caractéristiques de la connaissance des pratiques effectives de la science ;
- les moyens par lesquels le travail de projet en licence permet l'apprentissage des pratiques effectives de la science.

4. PROJETS DE RECHERCHE AU COURS DE LA LICENCE EN SCIENCE

Le but principal du travail du projet de dernière année, tel que le conçoivent les professeurs d'université impliqués dans l'étude rapportée ici, est de donner une expérience des pratiques effectives de la science.

«[Les projets de recherche donnent aux étudiants] l'occasion de vivre la vie d'un vrai laboratoire et d'en expérimenter les diverses facettes en faisant partie d'un groupe actif de recherche : en expérimenter les

pièges, les essais, les tribulations, aussi bien que la passion de la recherche.» (Tuteur cité dans Ryder et al., 1996a, p. 10).

Au cours du travail de projet, les étudiants doivent mettre en pratique une série de compétences que nous avons caractérisées comme faisant partie du second niveau de l'apprentissage des contenus et méthodes en science – apprendre comment les scientifiques utilisent le savoir scientifique et les procédures de recherche. Les projets de recherche jouent un rôle particulier en familiarisant les étudiants à toute une gamme de facettes des pratiques effectives de la science.

Le travail de projet peut conduire à divers types d'activités : le travail de laboratoire, le travail de terrain, l'analyse de données, le travail sur les modèles théoriques, le travail en bibliothèque. À l'Université de Leeds, chaque étudiant développe son propre projet et est dirigé par un membre de l'équipe enseignante. Dans la plupart des cas, cette personne est un chercheur professionnel dont le travail présente des liens avec les projets proposés. Dans ce contexte, la plupart de ces projets prennent la forme d'une recherche originale et peuvent se conclure par une publication dans une revue scientifique. Les projets comptent pour un tiers de la note totale en fin d'année.

Il est important de souligner que la recherche dans les départements universitaires ne représente qu'un aspect de la pratique scientifique contemporaine. Celle-ci comprend aussi la recherche orientée vers la production dans le cadre commercial et la recherche interdisciplinaire. Notre étude se limite au développement des idées des étudiants à propos de la pratique scientifique dans le contexte de la recherche à l'intérieur des départements universitaires en science.

5. CONCEPTION DE L'ÉTUDE

L'étude fut menée de septembre 1994 à janvier 1996 et faisait partie d'une collaboration entre la School of Education et les départements de biochimie et biologie moléculaire, chimie, sciences de la Terre et génétique à l'université de Leeds. Les objectifs de l'ensemble de la recherche prennent en compte l'organisation au sein des départements, le contrôle et l'évaluation du travail de recherche (Leach et al., 1996). Cependant dans cette publication nous n'aborderons que la partie de nos données qui relatent le développement des opinions des étudiants à propos des pratiques effectives de la science. Une analyse complète des données se trouve dans Ryder et al. (1996a ; 1996b ; 1997).

Nous avons mené douze études longitudinales de cas d'étudiants et de leurs tuteurs. Pour mieux comprendre les problèmes liés aux pratiques

effectives de la science, nous considérons trois entretiens avec des étudiants menés à différents moments au cours des 5-8 mois du travail de projet. Le tuteur de chacun de ces étudiants a été interrogé à la fin du projet. Les douze études de cas présentent divers types de projet (par exemple : laboratoire, analyse de données, modèle théorique, travail de terrain), de compétences et de profils (par exemple : âge, sexe, expérience de travail, aspirations de carrière). Cependant, un échantillon aussi limité ne peut être considéré comme représentatif de tout le corps étudiant des quatre départements. Il nous permet toutefois d'analyser l'interaction entre les expériences individuelles des étudiants en travail de projet et leur apprentissage des pratiques effectives de la science.

Les entretiens étaient semi-structurés : basés sur le modèle de l'entretien mais organisés de manière à inciter les participants à relever les problèmes qui leur paraissaient importants. De plus amples détails sur l'échantillonnage de l'étude de cas et sur l'organisation de l'entretien des étudiants et des tuteurs sont donnés par Leach et al. (1996).

Notre étude a pour objet le développement des idées des étudiants à propos des pratiques effectives de la science et l'influence des activités liées au projet sur ce développement. Il faut noter cependant que ces idées à propos des pratiques effectives de la science ne sont pas évidentes. Elles doivent être déduites du discours de l'étudiant à propos de la science, ou d'actions, dans un contexte spécifique. Notre utilisation des entretiens d'étudiants présente certaines limites. Dans chaque cas, les entretiens donnent les points de vue «exposés» par les étudiants – points de vue exprimés dans le contexte d'un entretien de recherche. Il n'est pas certain que ce que les étudiants disent dans un entretien reflète exactement le point de vue sur la science engendré par leurs activités dans le projet. Cependant, nous estimons que les opinions exprimées dans les entretiens donnent une image représentative de ce que les étudiants pensent suite à leur travail de projet. C'est en particulier le cas lorsqu'ils illustrent leurs considérations sur la science par la description d'épisodes de leur propre travail de projet. Ces épisodes sont repris dans cet article. Le fait d'observer en direct les étudiants au cours de leurs activités dans leur projet nous aurait permis de sonder leurs opinions sur la science mais cela aurait pris trop de temps à cause de la durée, de 5 à 8 mois, du projet de chaque étudiant.

Le point de vue présenté dans cette publication est issu du résultat des études de cas elles-mêmes mais aussi de nos lectures annexes, en didactique des sciences, en histoire et en philosophie des sciences. Pour illustrer et donner des exemples de ce point de vue, nous présentons quelques épisodes de nos études de cas. Ils constituent des sortes «d'instantanés» des expériences des étudiants au cours de leur travail de projet, choisis pour mettre en exergue les points clés. Ces épisodes ne sont

pas représentatifs des activités typiques de projet. Nous avons utilisé autant que possible des extraits directs des entretiens des étudiants et des tuteurs. Mais dans de nombreux cas, ce n'est qu'en prenant un entretien dans son ensemble que l'on peut établir sa signification. Dans ces cas-là, les épisodes comprennent un commentaire plutôt qu'une citation brute.

6. L'APPRENTISSAGE DES ÉTUDIANTS SUR LES PRATIQUES EFFECTIVES DE LA SCIENCE

6.1. Connaissances explicite et tacite

La connaissance des contenus et des méthodes de la science est la **connaissance explicite**. On peut la lire dans les manuels, en parler pendant les pauses café ; elle constitue l'essentiel des syllabus de cours. À l'opposé, la connaissance des pratiques effectives de la science est souvent très difficile à montrer de manière explicite. Par exemple, les biologistes moléculaires peuvent réaliser avec succès des procédures de polymérisation en chaîne et évaluer la signification des résultats. Cependant, ils peuvent éprouver des difficultés à décrire de manière explicite chaque détail de la manière dont ils procèdent. Une telle connaissance est la **connaissance tacite**, décrite par Polanyi (1967, p. 4) en tant que « *connaître plus que ce que l'on peut en dire* ». La connaissance tacite existe aussi en-dehors de la science. Par exemple, la plupart des gens sont capables d'utiliser la grammaire correctement tout en étant incapables de décrire les règles grammaticales de manière explicite.

La connaissance tacite des pratiques effectives de la science joua un rôle important dans de nombreuses études de cas des expériences des étudiants en travail de projet de dernière année. Par exemple, un étudiant en sciences de la Terre décrivit à quel point il fut surpris de découvrir avec quelle facilité son tuteur, Suzan, pouvait identifier les types de roche pendant une visite sur le terrain.

«Suzan nous emmena sur un site (...) et nous signala certaines choses. Nous lui avons dit : "oh, nous n'avons pas appelé [ces roches] ainsi, nous ne pensions pas du tout que c'était cela" (...) nous les interprétions tout-à-fait différemment et les appelions autrement.»
(deuxième entretien)

En fait cet étudiant apprit, par la suite, que son tuteur de projet utilisait une clé de classification particulière pour identifier les types de roche. Ce tuteur s'était déjà rendu de nombreuses fois sur ce site. Suite à ses visites, son utilisation de cette clé de classification était devenue tacite. Elle n'était

plus explicitement consciente de faire usage d'un système de classification pour identifier les types de roches de ce site. Au cours de la visite sur le terrain, l'étudiant, lui non plus, ne se rendait pas compte de son utilisation d'un système de classification et était incapable d'identifier les roches comme le faisait son tuteur. Les clés de détermination sont un outil de base pour décrire et interpréter le monde de la nature dans les sciences de la Terre (et bien sûr dans de nombreuses sciences de la Vie) et sont communément utilisées au cours des études de terrain.

L'exemple donné ci-dessus montre que, pour assurer au mieux l'apprentissage des pratiques effectives de la science, les professeurs en science doivent pouvoir identifier les contextes dans lesquels ils font usage de leurs connaissances tacites. Les ayant rendues explicites à eux-mêmes, il faut encore qu'ils s'assurent que ces connaissances tacites sont effectivement communiquées aux étudiants. Dans certains cas, il peut être approprié de communiquer explicitement aux étudiants des aspects des pratiques effectives de la science ; dans d'autres cas, une approche plus implicite peut être plus efficace.

6.2. Les messages implicites des programmes

Dans nos études de cas, nous avons trouvé que les connaissances des étudiants sur des pratiques effectives de la science se développent souvent à partir des messages communiqués implicitement au cours des activités d'enseignement. Ces messages implicites contrastent avec ceux des activités d'enseignement dans lesquels les professeurs discutent explicitement des aspects des pratiques effectives de la science. L'importance de ces messages implicites a déjà été reconnue en didactique. Par exemple, Brickhouse (1990) a montré que des enseignants communiquent des messages implicites sur la science par l'organisation du travail de laboratoire, et par la manière de parler des données fournies par ces activités. Roth & Lucas (1997) ont décrit ces messages implicites comme un «*programme mis en actes*» – un programme communiqué par l'action plutôt que par la parole.

Dans certains cas, les connaissances issues de ces messages implicites se formaient sans lien avec le but poursuivi par le professeur dans ses activités d'enseignement. Dans d'autres cas, les professeurs de science étaient conscients que l'activité d'enseignement peut engendrer, implicitement, des idées chez les étudiants, sans nécessité de rendre le message explicite.

En voici un exemple : l'épisode suivant décrit un contexte d'enseignement dans lequel le tuteur de l'étudiant n'est pas du tout

impliqué. L'étudiant y développe un raisonnement complexe sur les pratiques des géologues dans la construction de leurs modèles théoriques basée sur l'évaluation de données expérimentales. Même si la nature des modèles multiples n'est jamais rendue explicite, l'étudiant peut parvenir à se la représenter grâce aux messages implicites révélés par une des facettes de l'activité scientifique professionnelle.

Épisode 1 : «Modèles multiples»

Robert était étudiant en géophysique et son projet comprenait une analyse sur ordinateur d'un enregistrement sismologique anormal. Son tuteur lui présenta deux modèles sismologiques. Dans le premier entretien, on comprend que Robert pensait que le but de son projet était de prouver laquelle des deux théories était correcte. Cependant, au cours du second entretien, Robert décrit un événement qui eut un impact important sur son projet :

«Je lisais quelques notes dans un livre et il était dit qu'il existait une publication sur les vagues superficielles et on y faisait état de sortes de "vagues guidées". J'ai pensé que je devais jeter un coup d'oeil à cela et juste voir (...) Cette publication a changé complètement mon projet. Cela m'a semblé un peu étrange et j'ai essayé de mettre les choses au clair.»

(deuxième entretien)

En réalité, la publication présentait un troisième modèle qui pouvait rendre compte des données qu'il devait estimer. Il fut troublé par cette prolifération de modèles. Dans le dernier entretien, les réflexions générales de Robert sur la nature de la science révèle l'influence de sa découverte des modèles multiples :

«Souvent vous voyez qu'il existe toujours déjà au moins 2 ou 3 théories pour expliquer un phénomène jusqu'à ce qu'il soit peut-être démontré expérimentalement. Mais même alors, les gens peuvent encore modifier leurs théories (...) c'est typique de la géophysique, cela semble une science moins exacte que d'autres comme la physique.»

(troisième entretien)

La lecture d'articles de recherche se retrouve dans tout projet de recherche de dernière année. Le but de cette lecture est de développer la compréhension des étudiants du savoir scientifique et des découvertes de la recherche dans le domaine de leur projet. L'épisode ci-dessus montre que Robert a reçu des messages explicites sur les vagues guidées et les vagues de surface mais aussi des messages implicites provenant des publications qu'il a lues. Ces dernières lui ont permis de développer sa

compréhension de la nature de la connaissance scientifique. Les entretiens avec le tuteur de Robert ont confirmé que cet étudiant avait lu beaucoup d'articles de recherche et que l'article qu'il avait mentionné dans son entretien avait effectivement eu une profonde influence sur le projet. Grâce à cette lecture, Robert avait acquis une connaissance plus approfondie du rôle de la construction de modèles dans les sciences de la Terre, en particulier l'idée que les modèles ne naissent pas spontanément de l'analyse de phénomènes mais nécessite une implication créative de la part du chercheur. C'est pourquoi, bien souvent, plus d'un modèle peut être légitimement utilisé pour expliquer le même phénomène.

L'épisode 2 («Vidéo de l'apoptose») donne un autre exemple de l'apprentissage d'un étudiant sur les pratiques effectives de la science comme résultat de messages implicites.

Épisode 2 : «Vidéo de l'apoptose»

À deux moments, dans son dernier entretien, Anita, une étudiante en génétique, fit mention de l'influence qu'eut une vidéo sur ses idées de la science.

«Il y a cette théorie vraiment très importante de l'apoptose. Voici peu, nous avons regardé une vidéo à ce sujet. Elle a comme sujet la mort des cellules. Il y a 20 ans ce scientifique avait annoncé l'existence de l'apoptose mais personne ne l'a cru. Récemment des scientifiques dans un tout autre travail de recherche avaient découvert des choses qu'ils ne pouvaient pas du tout expliquer saufs'ils suivaient l'hypothèse de l'apoptose. Ainsi 20 ans plus tard, ils durent l'accepter. Cela prend du temps, ils étaient sûrs d'eux quand ils disaient que cela ne pouvait pas se passer mais finalement ils ont dû l'admettre. Ceci montre comment les gens peuvent changer d'avis.»

(troisième entretien)

«Nous eûmes un séminaire sur l'apoptose. Je pense que c'était le Docteur Bojar, il montra la vidéo avant le séminaire comme cela nous pouvions comprendre de quoi il s'agissait. Elle donne beaucoup d'exemples de quelque chose qui était totalement oublié. Au moment où il présenta sa théorie, personne ne le crut. Il n'obtint aucun fonds et maintenant 20 ans après, tout cet intérêt a repris vie dans ce projet précis. Je pense que cela m'a vraiment influencée parce que j'ignorais cet aspect particulier.»

(troisième entretien)

En voyant une vidéo, à mi-parcours de son travail de projet, Anita réalisa comment les idées théoriques peuvent être admises ou rejetées dans le monde de la science. Dans l'épisode qui vient d'être décrit, elle parle

de l'importance, pour les scientifiques, d'accepter de nouvelles idées et note combien l'obtention des fonds influence le choix des problèmes scientifiques retenus par la recherche. Bien que nous n'ayons pas relevé de citations d'autres entretiens d'Anita, ces idées ne ressortaient pas avant.

La vidéo fut montrée au groupe d'étudiants des travaux dirigés comme préparation à l'écoute d'un séminaire de département sur l'apoptose, une théorie de la mort programmée des cellules. Bien que la vidéo ne fut pas montrée en tant que partie de son travail de projet, le fait qu'Anita la vit, alors qu'elle était engagée dans un travail de recherche, eut pour effet qu'elle put faire le lien entre les déclarations d'acceptation/rejet de la connaissance scientifique et ses propres expériences.

Les deux épisodes qui viennent d'être décrits soulignent l'importance des messages implicites dans le développement de la compréhension des étudiants. Ces messages implicites peuvent provenir des activités officielles du programme, comme c'est le cas pour la vidéo sur l'apoptose, ou plus simplement de discussions avec des professeurs. Les situations décrites dans les épisodes contrastent avec les situations d'enseignement et d'apprentissage formels et explicites qui caractérisent l'apprentissage, par les étudiants, des contenus et des méthodes de la science – cours magistraux, activités expérimentales et lectures de manuels. On peut en conclure que l'enseignement et l'apprentissage des pratiques effectives de la science nécessitent des approches nouvelles et distinctes. Les messages implicites et explicites sont tous deux importants et sont communiqués dans les contextes d'enseignement/apprentissage formels et informels.

6.3. Une introduction à la culture du travail scientifique

Nous avons montré que l'apprentissage des pratiques effectives de la science nécessite de communiquer aux étudiants des messages tant implicites qu'explicites. Nous avons aussi relevé que des messages implicites peuvent être efficacement transmis dans des contextes se rapportant à l'un des aspects de l'activité scientifique professionnelle, par exemple lors d'un travail de terrain ou au cours de la lecture d'articles de recherche. La valeur de ces contextes enseignement/apprentissage a été mise en lumière par ceux qui s'intéressent à la cognition située (par exemple : Brown et al., 1989 ; Hutchins, 1994). La cognition située reconnaît que beaucoup de connaissances (spécialement la connaissance tacite) sont spécifiques du contexte et ne peuvent être facilement représentées en dehors de la situation dans laquelle elles sont utilisées. Pour acquérir cette connaissance, l'apprenant doit être placé dans un milieu dans lequel cette connaissance est utilisée. Par exemple, les jeunes enfants acquièrent la capacité à utiliser le langage correctement s'ils sont placés parmi des experts du langage.

Jamais les règles de grammaire ne sont explicitement exposées à l'enfant. Selon la théorie de la cognition située, les étudiants peuvent parvenir à comprendre les pratiques effectives de la science en travaillant au milieu de scientifiques. Dans cette partie, nous examinerons à quel point le fait de plonger les étudiants en projet dans une culture du travail scientifique peut les aider dans leur apprentissage des pratiques effectives de la science.

L'épisode 3 («Vie dans le laboratoire») décrit les expériences d'un étudiant dont le travail de projet implique des interactions continues avec des scientifiques professionnels dans un laboratoire de recherche.

Épisode 3 : «Vie dans le laboratoire»

Le projet de Jane impliquait un travail expérimental en biochimie. Son tuteur était responsable d'un petit groupe de recherche comprenant des chercheurs professionnels, des étudiants en doctorat et des techniciens. Jane collabora à ce groupe de recherche tout au long de son projet. Dans son premier entretien, elle donnait ses premières impressions de la vie au laboratoire :

«J'aime travailler au laboratoire de toute façon (...) J'ai eu beaucoup de chance mais j'apprécie vraiment d'avoir des personnes à qui parler. Je ne peux dire à quel point c'est important (...) J'en retire des tas de choses. Le fait d'y être, d'utiliser de vraies techniques et faire partie du laboratoire (...) de ne pas paraître stupide parce qu'on pose des questions et de réaliser que c'est intégré. Vous n'êtes pas laissée seule à vous-même, vous faites partie d'un groupe.»

(premier entretien)

Dans le second entretien Jane méditait sur la pratique qu'elle a apprise au cours de son projet :

«[Mon tuteur] a dit des choses comme ceci : "Fais bouillir l'échantillon de protéine un peu plus longtemps ainsi tu n'auras pas autant à recueillir au sommet du gel" (...) C'étaient vraiment les ficelles du métier.»

(deuxième entretien)

À la fin du projet, Jane réfléchit à son expérience de laboratoire et à ce qu'elle en a retenu :

«Lorsque je regarde en arrière, je pense que ce projet m'a beaucoup apporté (...) je pense que ce que j'en ai appris ce sont les bases de la recherche en science, comment fonctionne un laboratoire (...) tout problème que vous avez, quelqu'un d'autre l'a eu avant vous. Vous n'êtes pas abandonné à vous-même et je pense que c'est très profitable.»

(troisième entretien)

Ces extraits d'entretiens de Jane font allusion à tout ce qu'elle a appris sur la nature de la recherche scientifique au cours de son projet. Par exemple, l'importance d'acquérir les «ficelles du métier» pendant que l'on suit un protocole expérimental n'apparaissait pas dans la discussion avec Jane lors de son premier entretien. Il ressort de la transcription complète de l'entretien que Jane a appris beaucoup de choses concernant la science en tant qu'activité sociale, par exemple sur la manière dont les techniciens, les étudiants en post-doctorat et les chercheurs professionnels travaillent ensemble dans un laboratoire. Jane a développé ces conceptions non seulement parce qu'elle a eu l'expérience de la vie en laboratoire mais aussi parce que son tuteur l'a encouragée à s'impliquer dans les activités du laboratoire. Ce qui permet de mesurer l'expérience de Jane, c'est de voir à quel point elle était capable de parler de science avec d'autres scientifiques. Le tuteur de Jane était bien conscient qu'elle avait besoin d'un guidage lors de son introduction au travail de ce laboratoire :

« Il y a toujours deux ou trois personnes chez qui l'étudiant peut aller - des sortes de chefs d'équipe si vous voulez (...) En fait, je vérifie dans quelle direction l'étudiant se dirige, quelles sortes de techniques ils utilisent, savent-ils comment aborder le travail ou ont-ils déjà des informations ? J'ai une hiérarchie peu structurée. J'organise vraiment comme quelqu'un organiserait une société. Cela marche très bien. »

Pendant son initiation "guidée" à la culture d'un laboratoire de bioscience, Jane a eu la chance de bénéficier de nombreuses occasions de développer sa connaissance de la pratique scientifique par les messages à la fois implicites et explicites.

La perspective de la cognition située, dont on a parlé, pourrait faire penser que l'étudiant apprend sur la science simplement en étant avec des scientifiques professionnels. Selon l'épisode ci-dessus, Jane aurait certainement acquis des connaissances à propos des pratiques effectives de la science par le seul fait de pouvoir entreprendre son projet. Cependant, elle put en apprendre beaucoup plus sur les pratiques effectives de la science parce que son tuteur voyait clairement ce qu'il souhaitait que Jane comprenne de la science pendant son travail de projet. Avec comme conséquence qu'il sut volontairement lui recommander, pour son projet, des activités propres à l'aider à comprendre en quoi consiste le travail d'un laboratoire de recherche en bioscience. Le fait d'immerger les étudiants dans une culture de la pratique scientifique leur donne accès à une connaissance des pratiques effectives de la science qu'ils pourraient difficilement acquérir autrement. Cependant nous ne pouvons faire l'hypothèse que les étudiants vont acquérir un savoir sur la science simplement par le fait d'être exposés à la pratique scientifique. Le rôle de l'enseignant garde toute sa place dans l'identification des savoirs à

communiquer à l'étudiant et dans leur mise à disposition aux étudiants. Ces savoirs doivent en effet être incorporés au programme de science à un niveau approprié aux capacités des étudiants – décrit ailleurs comme un processus de la «transposition didactique» (Tiberghien, 1996 ; Ogborn et al., 1996).

Même dans un département de sciences à l'université, axé spécialement sur la recherche, tous les projets d'étudiants ne peuvent déboucher sur une participation active à une grande communauté de recherche scientifique. L'épisode suivant illustre comment des étudiants peuvent apprendre ce qu'est la science simplement en expérimentant un aspect de la pratique scientifique professionnelle, reconstituée dans un contexte d'enseignement. Cet épisode montre aussi l'apprentissage des étudiants en recherche scientifique à l'extérieur du laboratoire. En fait, les activités quotidiennes de nombreux scientifiques professionnels supposent du travail dans un isolement relatif et bien des scientifiques ne travaillent jamais dans un environnement de laboratoire.

Épisode 4 : «Oeufs de dinosaure ?»

Kevin était un des 6 étudiants en science de la terre qui vécurent ensemble dans une caravane pendant les 6 semaines du travail de terrain. Kevin décrit comment ils interagissaient comme un groupe de collègues :

«Nous pouvions revenir [à la caravane] et dire : "Oh j'ai trouvé ce fossile. Quelqu'un a-t-il une idée de ce que cela peut être?" On donnait toutes nos idées (...) il y avait parfois de quoi s'étonner (...) on se faisait plein de taquineries à propos de la géologie (...) cela vous faisait voir les choses sous différents angles.»

(deuxième entretien)

Par la suite, l'entretien de Kevin raconte un exemple typique de ces «plaisanteries géologiques» :

«Nous pensions qu'il s'agissait d'oeufs de dinosaures car cela avait la forme d'un oeuf. Nous ne pouvions expliquer ce que c'était, nous n'en avons jamais vu avant et chacun donna son idée à ce sujet. Nous pensions que nous allions faire une publication à ce sujet et devenir millionnaires. Il se passa qu'un des gars en avait vu à une petite échelle et dit : "Oh ce sont des algues" (...) ce fut très animé [mais finalement] sans rancune nous avons accepté et abandonné l'idée de faire une publication.»

(deuxième entretien)

Dans cet épisode, les étudiants examinent des traces de vie, les présentent, défendent leurs idées personnelles et en fin de compte se

mettent d'accord sur l'interprétation la plus rationnelle. On peut dire que ces étudiants sont en train de s'approprier et d'évaluer un nouveau savoir. En termes de caractérisation des pratiques effectives de la science, ces étudiants sont en apprentissage de «*la science en action*» (Latour, 1987). Si on examine l'ensemble de l'entretien de Kevin, on voit que le travail de projet l'a ouvert à de nouvelles manières de percevoir comment le savoir en science peut être accepté. Dans le contexte plus large de l'entretien dans lequel cet épisode intervient, Kevin utilisait cet exemple de son travail de projet pour montrer comment le savoir se construit dans le monde scientifique. Cette petite reconstitution informelle de la pratique scientifique professionnelle a soutenu le développement de la compréhension de Kevin des pratiques effectives de la science.

7. LES IMPLICATIONS ÉDUCATIVES

Un choix décisif pour ceux qui essaient d'incorporer des aspects des pratiques effectives de la science dans le programme de licence est de savoir s'il faut développer des cours formels dont l'objectif principal est de développer les idées des étudiants dans ce domaine ou s'il vaut mieux se centrer sur une approche globale du programme dans lequel les occasions d'explorer les pratiques effectives de la science sont insérées dans une grande diversité de cours. Les cours formels peuvent se mêler à ceux qui s'adressent aux étudiants en sciences de toutes disciplines. Un exemple de ce genre de cours de science générique a été décrit par Giere (1991). D'autres cours formels peuvent être conçus à l'intérieur d'une discipline. Par exemple l'Open University a publié un module d'enseignement intitulé «Méthodes et consensus dans les sciences de la Terre» (Open University, 1976) qui décrit et discute des épisodes de l'histoire des sciences de la Terre. Bien que ces cours présentent aux étudiants les principaux points de vue et peuvent parfaitement s'intégrer à un programme conçu pour développer les pratiques effectives de la science, ils souffrent de deux défauts principaux.

D'abord, les pratiques effectives de la science varient considérablement entre et même à l'intérieur d'une discipline (Samarapungavan, 1992). Même si, superficiellement, il existe de larges convergences entre les travaux en sciences, les activités scientifiques précises des géologues, des biologistes moléculaires, des physiciens des particules et des physiciens de la matière condensée diffèrent grandement entre elles. Par exemple, le physicien théorique conçoit des modèles théoriques qui peuvent servir à expliquer des phénomènes observables et prédire des comportements sous diverses conditions ; les activités du chercheur en physique expérimentale, qui tend à établir avec une grande précision les valeurs

d'une constante fondamentale, sont très différentes. Même si les modèles théoriques restent importants, il cherchera à travailler avec des instruments extrêmement sensibles de manière à produire des données fiables atteignant le niveau de précision souhaité. Des cours formels arrivent difficilement à rendre compte, explicitement, des détails des pratiques effectives de la science hors de la culture de la pratique où elles sont implicitement représentées. Ce problème est cependant moins marqué dans des cours centrés sur une discipline, comme ceux de l'Open University.

Un second problème rencontré, avec des cours explicites sur les pratiques effectives de la science, est qu'ils ne garantissent en rien que les étudiants pourront utiliser les connaissances des pratiques effectives de la science développées explicitement dans une situation pour les appliquer dans une autre situation. Samarapungavan (1992) a montré que ce que les scientifiques déclarent explicitement à propos de leurs activités scientifiques peut n'avoir que de faibles relations avec leurs propres activités en tant que chercheurs professionnels. De plus, nous avons vu que les messages implicites du programme ont un impact majeur sur les idées qu'ont les étudiants des pratiques scientifiques. Même lors de cours explicites, ces messages implicites peuvent avoir de l'influence sur les activités effectives des étudiants pendant les cours et au-delà. Nous voudrions proposer d'essayer d'accroître les occasions données aux étudiants de développer leurs idées des pratiques effectives de la science, à travers l'ensemble du programme de licence plutôt que, seulement, à l'intérieur de modules isolés, centrés explicitement sur les pratiques effectives de la science.

En donnant des exemples tirés d'une étude des expériences des étudiants en travail de projet de dernière année pour illustrer notre point de vue, nous ne souhaitons pas laisser entendre que ce travail de projet est l'unique contexte d'enseignement dans lequel les connaissances des étudiants à propos des pratiques effectives de la science, peuvent se développer. En fait, ce travail de projet met peu en jeu deux facettes, au moins, des pratiques de la science professionnelle. D'abord, la recherche académique expérimentée par les étudiants dans cette étude constitue seulement un côté de la pratique scientifique contemporaine. Comme souligné par Ziman (1995), une culture scientifique "post-académique" prend de l'importance – particulièrement dans la recherche et le développement scientifique commercial mais aussi à l'intérieur de la science universitaire. Ziman montre que le travail scientifique devient de plus en plus orienté vers la production, avec des décisions prises par les entreprises et les institutions gouvernementales qui le subventionnent. Les scientifiques contemporains ne peuvent être perçus comme «*les chercheurs solitaires de la vérité*» (p. 5, op.cit.). Pour introduire ces aspects nouveaux de la pratique contemporaine de la science dans le programme de licence,

il convient d'organiser des visites de centres de recherche commerciale, de laboratoires de développement, des centres de recherche interdisciplinaire, de présenter des séminaires animés par des hommes et femmes de science de l'industrie et de chercher des stages pour étudiants en dehors de l'université.

De plus, la signification des facteurs sociologiques en science n'est, elle-même, que partiellement présente dans les épisodes relatés dans cet article. Par exemple, l'épisode « Vie dans le laboratoire » montrait l'importance de l'interaction avec d'autres scientifiques dans le développement de la prise de conscience des « ficelles du métier » d'usage courant dans les biosciences expérimentales. Cependant, en plus de la sociologie interne à la science, il existe aussi une sociologie externe de la science, centrée sur les influences qu'ont les pratiques effectives de la science sur les vies de ceux qui ne sont pas directement impliqués par la science (Aikenhead & Ryan, 1992). Par exemple, les progrès de l'ingénierie génétique ont provoqué une inquiétude générale quant à l'éventualité d'un dépistage génétique obligatoire, – les résultats de l'information génétique devenant accessibles aux compagnies d'assurances – mais ils ont, par là-même, engendré la fonction nouvelle de « conseiller en matière génétique ». Ces problèmes ne sont pas abordés dans cette étude. Cependant il paraît capital de comprendre comment les pratiques effectives de la science modifient les vies de ceux qui sont en-dehors de la science. Ce problème doit être abordé par les étudiants qui vont travailler dans un domaine lié aux sciences (par exemple : enseignants, journalistes, responsables de la santé). Il faut constater que les initiatives, dans l'organisation des programmes, pour développer chez les étudiants une compréhension des interactions entre science et société ne cessent de se multiplier au cours de ces dernières années (Turney, 1994).

Nous avons illustré la perspective proposée dans cet article en utilisant une étude des expériences des projets de fin d'études. Cependant, il existe d'autres occasions, à d'autres moments de la licence, de développer la compréhension des pratiques effectives de la science. Les exemples suivants sont tirés d'activités pédagogiques, pratiquées par les départements en science de l'université de Leeds, qui tentent de reconstituer une activité scientifique dans un contexte d'enseignement. Elles servent d'introduction guidée à l'un des aspects des pratiques effectives de la science. Certaines de ces activités ont fait l'objet d'une étude de recherche, mais les conclusions doivent encore en être publiées. Un point clé de l'appréhension de la nature de la recherche en science est de comprendre la structure et les objectifs des articles de la recherche en science et de savoir comment évaluer la qualité du travail présenté. Une partie des travaux dirigés est consacrée à demander aux étudiants de choisir et lire une publication de recherche en

science et de présenter un condensé des idées principales à leurs condisciples. Dans ce travail dirigé, le professeur concerné peut décrire explicitement aux étudiants la structure d'une publication scientifique et le but de chacune de ses parties (résumé, introduction, discussion). De même, au cours d'une séance, on peut présenter aux étudiants des données expérimentales, demander d'en faire une première interprétation personnelle pour la retravailler ensuite avec d'autres étudiants et arriver à un accord sur l'interprétation (ou à une discussion bien argumentée sur ce pourquoi ils sont ou non d'accord). Très différent du travail en laboratoire d'enseignement où on se centre davantage sur la maîtrise des techniques expérimentales et la collecte des données, ces travaux dirigés donnent l'occasion aux étudiants de se focaliser sur l'interprétation de données et sur les diverses explications. Ainsi les étudiants peuvent se former aux relations entre les éléments du savoir scientifique et les données expérimentales dans leur discipline. Comme dernier exemple, on peut proposer aux étudiants d'écrire une demande de subsides à une importante institution afin de soutenir le domaine de recherche de leur travail de projet. À nouveau cette activité met en scène une reconstitution de la science professionnelle, initiant les étudiants aux moyens utilisés par les scientifiques pour trouver des fonds nécessaires au démarrage de leur travail, et aux influences des institutions accordant les bourses sur les domaines valorisés dans la recherche – aspects clés des influences sociales et institutionnelles sur l'activité scientifique professionnelle.

CONCLUSION

Dans cet article, nous nous sommes centrés sur l'apprentissage de l'étudiant des pratiques effectives de la science. Bien que les projets de recherche des dernières années ne constituent pas le seul contexte dans lequel les étudiants peuvent développer leur compréhension des pratiques effectives de la science, ces projets offrent à l'étudiant l'occasion par excellence de s'insérer dans une activité scientifique pendant une longue période. D'ailleurs le principal objectif du travail de projet, comme l'ont exprimé les professeurs concernés, est d'introduire les étudiants au monde de la science professionnelle. Bien sûr, les étudiants retiendront sans aucun doute quelque chose des pratiques effectives de la science rien que par le fait de travailler parmi des scientifiques dans l'exercice de leur métier. Mais si les départements en science souhaitent donner une efficacité maximale aux projets en réalisant ces objectifs, alors les professeurs doivent jouer un rôle important en identifiant et rendant explicites les aspects de leur propre pratique de la science, aspects qu'ils souhaitent communiquer aux étudiants. Ceci n'est pas une tâche aisée, en particulier

parce qu'une grande partie de l'expertise du scientifique professionnel relève de la connaissance tacite. Après avoir identifié et s'être rendu explicites les facettes des pratiques effectives de la science, les professeurs doivent communiquer leurs conceptions à leurs étudiants. Nous avons montré que, bien que les messages explicites sur la science occupent une grande place, il ne faut pas négliger les messages implicites du programme, dont beaucoup ne sont pas intentionnels, mais qui peuvent avoir un effet important sur la compréhension, par les étudiants, des pratiques effectives de la science.

BIBLIOGRAPHIE

- AIKENHEAD G.S. & RYAN A.G. (1992). The development of a new instrument : «Views on Science, Technology, Society». *Science Education*, vol. 76, n° 5, pp. 477-491.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (1990). *Science for all Americans*. Oxford, Oxford University Press.
- BRICKHOUSE N. (1990). Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, may-june, vol. 41, n° 3, pp. 53-62.
- BROWN J.S., COLLINS A. & DUGUID P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, n° 18, pp. 32-42.
- CHALMERS A.F. (1982). *What is this thing called science ?* Milton Keynes, Open University Press.
- DRIVER R., LEACH J.T., MILLAR R. & SCOTT P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham, Open University Press.
- FLEMING R. (1998). Undergraduate science students' views on the relationship between Science, Technology and Society. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 4, pp. 449-463.
- GIERE R. N. (1991). *Understanding Scientific Reasoning 3rd Edition*. Fort Worth, Holt, Rinehart & Winston.
- HUTCHINS E. (1994). *Cognition in the Wild*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- LAROCHELLE M. & DESAUTELS N. (1991). 'Of course, it's just obvious' : Adolescents' ideas of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, vol. 16, pp. 175-190.
- LATOUR B. (1987). *Science in Action*. Cambridge, Harvard University Press.
- LEACH J., RYDER J. & DRIVER R. (1996). *ULISP Working Paper 2 : The Research Project Study : Design and methodology*. Leeds, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- LEDERMAN N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science : A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, n° 4, pp. 331-359.
- MATTHEWS M. R. (1994). *Science teaching : The role of history and philosophy of science*. London, Routledge.
- MILLAR R. (1989). *Doing Science : Images of science in science education*. London, Falmer Press.
- OGBORN J., KRESS G., MARTINS I. & MCGILLICUDDY K. (1996). *Explaining Science in the Classroom*. Buckingham, Open University Press.

- OPEN UNIVERSITY (1976). *Methods and Consensus in the Earth Sciences* – Course notes.
- POLANYI M. (1967). *The Tacit Dimension*. London, Routledge and Kegan.
- ROTH W.M. & LUCAS K.B. (1997). From «Truth» to «Invented Reality» : A discourse analysis of high school physics students' talk about scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 34, n° 2, pp. 145-179.
- RYDER J. & LEACH J. (1996). Learning what it means to be a biochemist : case study of a tutorial on Glycolysis. *Biochemical Education*, vol. 24, pp. 21-25.
- RYDER J., LEACH J., & DRIVER R. (1996). *ULISP Working Paper 3 : Final Year Projects in Undergraduate Science Courses*. Leeds, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- RYDER J., LEACH J., & DRIVER R. (1996b). *ULISP Working Paper 4 : Undergraduate Science Research Projects : The student Experience*. Leeds, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- RYDER J., LEACH J. & DRIVER R. (1997). *Undergraduate Science Students' Images of the Nature of Science*, Paper presented at the symposium «New perspectives on Conceptual Change in Science and Mathematics Learning», American Educational Research Association Annual Conference, Chicago, March 1997.
- SAMARAPUNGAVAN A. (1992). *Scientists' conceptions of science : a study of epistemic beliefs*. Paper presented at the AERA Annual Meeting San Francisco, April 1992.
- SÉRÉ M.-G., JOURNEAUX R. & LARCHER C. (1993). Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 4, pp. 427-438.
- TIBERGHEN A. (1996). Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy. In J.Welford, J. Osborne & P. Scott (Éds), *Research in Science Education in Europe : Current Issues and Themes*. London, Falmer Press, pp. 100-114.
- TURNER J. (1994). Teaching science communication : Courses, curricula, theory and practice. *Public Understanding of Science*, n° 3, pp. 435-443.
- VAN HEUVELEN A. (1991). Learning to think like a physicist : A review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, n° 59, pp.891-897.
- ZIMAN J.M.(1995). *Of one mind : The collectivisation of science*. Woodburg, New York, American Institute of Physics Press.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les professeurs et les étudiants des départements de biologie, biochimie et biologie moléculaire, des sciences de la Terre et de chimie à l'université de Leeds qui ont contribué au travail présenté ici.

Nous remercions également la contribution significative du feu professeur Rosalind Driver du King's College de Londres, pendant la première phase de ce travail.

Ce projet a été financé à la fois par les départements de sciences de la «School of Education» et de l'«Academic Development Fund» de l'université de Leeds.