

Recherche et développement en didactique de la physique à l'université ; résultats et tendances

Research and development in Physics Didactics at University ; issues and trends

Hans NIEDDERER

Université de Brême, Physics Department
PO Box 330440
28334 Bremen, Allemagne.

(Traduit par Martine Méheut et Andrée Tiberghien)

Résumé

Au plan international, l'enseignement de la physique à l'université est actuellement dans un processus de développement et de changement. D'importantes insuffisances de cet enseignement se manifestent souvent par un très bas niveau de motivation des étudiants ; il s'en suit une diminution du nombre de nouveaux étudiants, avec, de plus, après enseignement, un manque de compréhension qualitative des concepts de base de la physique. La didactique de la physique peut contribuer à des améliorations en développant de nouvelles approches d'enseignement et des

recherches sur la motivation des étudiants et sur leur compréhension des concepts de base. Cet article discute des directions pertinentes de recherche et propose, plus particulièrement, des questions de recherche et des exemples de résultats. Les cours et les TP méritent d'être soigneusement pensés pour devenir à la fois plus motivants pour les élèves et plus efficaces pour l'apprentissage. Des formes plus interactives de cours et plus d'efforts pour relier théorie et pratique pendant les TP constituent des principes importants ; il s'agit non seulement de faire avec « les mains » mais aussi avec « la tête ».

Mots clés : *physique, apprentissage à l'université, recherche empirique, enseignement constructiviste.*

Abstract

University physics education world-wide is in a process of development and change. Important deficiencies of university teaching are often a low level of motivation followed by decreasing enrolment numbers, and a lack of qualitative understanding of basic concepts in physics. Physics didactics can contribute to improvement with development of new teaching approaches and research about motivation of students and their understanding of basic concepts. The following article discusses relevant directions of research, related research questions and exemplary results. Lectures and labwork deserve careful thoughts to become more motivating for students and more effective for learning. Important principles are more interactive forms of teaching in lectures and more efforts to connect theory and practice during labwork, not only with « hands-on », but also with « minds-on ».

Key words : *physics, learning university, empirical research, constructivist teaching.*

Resumen

La enseñanza de la física en la universidad, en todo el mundo, está actualmente en un proceso de desarrollo y cambio. Importantes deficiencias de la enseñanza universitaria son, a menudo, un bajo nivel de motivación seguido por una disminución del número de nuevos estudiantes, y una falta de comprensión cualitativa de los conceptos básicos en física. La didáctica de la física puede contribuir a su mejoramiento con el desarrollo de nuevos enfoques de enseñanza y la investigación sobre la motivación de los estudiantes y su comprensión de los conceptos básicos. El presente artículo discute algunas direcciones relevantes de investigación, y más específicamente propone algunas preguntas de investigación y ejemplos de los resultados. Los cursos y las prácticas de laboratorio ameritan de ser cuidadosamente pensadas para devenir al mismo tiempo motivantes para los alumnos y más eficaz para el aprendizaje. Algunos principios importantes son formas más interactivas de cursos y más de esfuerzo para conectar teoría y práctica durante las prácticas de laboratorio, se trata no solamente de hacer con « las manos » sino también con « la cabeza ».

Palabras claves : *física, aprendizaje en la universidad, investigación, enseñanza.*

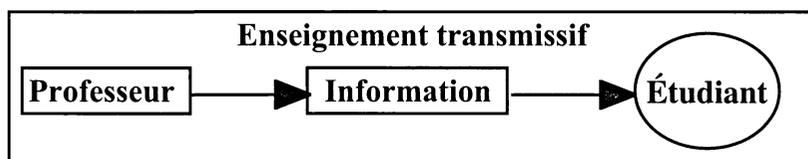
1. INTRODUCTION

Au niveau international, l'enseignement de la physique à l'université est actuellement dans un processus de développement et de changement ; cette situation est très bien présentée dans le livre « *The changing role of physics departments in modern universities* » (Redish et al., 1997). Une raison de cette nouvelle dynamique vient des étudiants eux-mêmes : nombreux sont ceux qui trouvent que la physique n'est pas un sujet qui vaille encore la peine d'être étudié ; ainsi le nombre d'étudiants s'inscrivant en physique décroît et les départements des universités sentent le besoin de réagir. Une autre raison de cette dynamique vient des résultats de la recherche en didactique : les cours « traditionnels » de physique du début de l'université semblent insuffisants pour permettre aux étudiants de comprendre les concepts de la physique (Nachtigall, 1985 ; McDermott, 1997 ; Hake, 1998a ; Mazur, 1997).

Les articles de Hake (1998a, 1998b) montrent également que la principale tendance qui ressort de cette discussion sur l'amélioration de la situation est que l'enseignement devrait devenir plus interactif pour les cours et les travaux pratiques (TP) ; cette interactivité devrait porter non seulement sur « faire avec les mains » mais sur « faire avec la tête » (« *heads-on* » and « *hands-on* »). En ce qui concerne les TP, la même tendance est soulignée par Lunetta : « *Pour beaucoup d'étudiants, un TP signifie manipuler du matériel mais pas manipuler des idées* » (Lunetta, 1998, p. 250).

Cet article est centré sur des études empiriques relatives à la compréhension et à l'apprentissage de la physique par les étudiants¹. Ce type de recherche a permis de développer, au cours de ces vingt dernières années au moins, un corpus substantiel de résultats reconnus sur les conceptions des étudiants (« *alternative frameworks* ») dans tous les domaines de la physique (Driver et al., 1994 ; Pfundt & Duit, 1998). Un champ de recherche plus récent concerne les processus d'apprentissage en physique (Duit et al., 1992). Toutes ces recherches ont conduit à changer le point de vue sur l'enseignement (figure 1).

Information



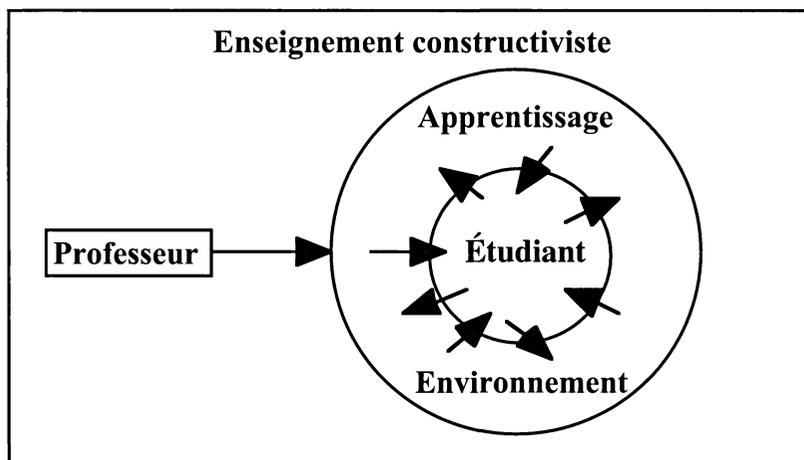


Figure 1: Deux perspectives différentes sur l'enseignement et l'apprentissage

La principale différence que l'on remarque est que, dans la perspective transmissive, on suppose que l'information donnée par l'enseignement peut être directement apprise par les étudiants avec un processus comme la reproduction d'une information donnée (par exemple à partir de la présentation du professeur lors d'un cours), tandis que, dans la perspective constructiviste, le professeur, grâce à des discussions, à des informations données, à des TP, au travail en groupe, peut seulement fournir un environnement d'apprentissage. Cependant les principaux processus mentaux des étudiants sont déterminés, selon le constructivisme, par leur propre façon de penser. Les étudiants peuvent alors élaborer une compréhension spécifique tout à fait différente de celle dont le professeur avait l'intention. Des travaux empiriques (Nachtigall, 1985 ; Galili et al., 1993 ; Thornton, 1997 ; Hake, 1998a) ont montré que de nombreux étudiants, après les cours de physique du début de l'université², avaient très souvent des conceptions différentes de celles que l'on voulait qu'ils apprennent. Une vue plus constructiviste de l'enseignement et de l'apprentissage serait en faveur d'un type plus interactif de cours (Mazur, 1997 ; McDermott, 1997 ; van Heuvelen, 1997 ; Hake, 1998b) et de TP (von Aufschnaiter et al., 1997 ; Bécu-Robinault & Tiberghien, 1998 ; Niedderer et al., 1998). Ceci pourrait donner aux étudiants plus de chances d'être actifs en « *expérimentant avec des idées* » (Lunetta, 1998), et, en retour, fournirait aux étudiants et aux professeurs plus d'informations sur ce qui se passe pendant l'enseignement.

2. LE RÔLE DE LA RECHERCHE EN DIDACTIQUE (PHYSICS EDUCATION) DANS L'ENSEIGNEMENT UNIVERSITAIRE

En général, le rôle de la recherche en didactique de la physique dans l'enseignement à l'université dépend de l'attitude du corps enseignant : les professeurs sont-ils prêts à accepter que l'enseignement soit une part pertinente de leur travail, qu'il puisse être mis en question et amélioré grâce à des coopérations ? D'après notre expérience, en Allemagne et aux États-Unis, le corps enseignant fut réticent dans le passé, mais il devient plus conscient des résultats de l'enseignement quand il se trouve face à des problèmes comme celui de la diminution du nombre de nouveaux étudiants en physique. Dans ce cas, la coopération entre les enseignants et les chercheurs en didactique devient importante et des processus d'innovation peuvent démarrer. Les négociations elles-mêmes pourraient aussi être l'objet d'un type important de recherche portant sur la compréhension de l'enseignement par les professeurs d'université et son évolution avec le temps (Fischler, 1994). De mon point de vue, l'innovation devrait porter particulièrement sur quatre aspects :

- des parties de cours plus interactives, incluant de courtes phases de travail en groupe avec des réactions d'autres enseignants ainsi que du professeur ;
- les contenus et le type d'activités dans les TP (clarification des objectifs, restructuration des TP et des feuilles de TP selon ces objectifs) ;
- la mise en oeuvre de nouvelles technologies dans l'enseignement et dans l'apprentissage de la physique ;
- la mise en oeuvre de TP conduisant « à faire non seulement avec les mains mais avec la tête » et de mini-projets qui peuvent, de façon significative, contribuer aux deux objectifs suivants : « relier théorie et pratique » et « améliorer la qualité de la pensée scientifique ».

En ce qui concerne ce type d'innovation, la recherche en didactique de la physique peut avoir comme rôles :

- d'être un moteur de l'innovation, dans la mesure où elle accorde de l'attention à l'enseignement et à l'apprentissage ;
- de conduire à des formes plus interactives d'enseignement, puisqu'elle est aujourd'hui fondée théoriquement sur l'enseignement et l'apprentissage constructivistes ;
- d'informer les professeurs d'université qu'elle a développé un corps de « connaissances pédagogiques » qui inclut celles sur les conceptions

typiques des étudiants, sur les nouveaux média et nouvelles technologies, sur de nouvelles approches didactiques, etc.

3. TYPES DE RECHERCHE EN DIDACTIQUE QUI PEUVENT ÊTRE UTILES À L'UNIVERSITÉ

3.1. Recherche sur les motivations et l'intérêt des étudiants en physique

Dans les départements de physique des universités, un problème crucial est la diminution du nombre des étudiants et le nombre croissant des étudiants qui, après quelque temps (typiquement une année), sont découragés par les difficultés, ne sont pas motivés par les cours de physique et abandonnent cette discipline. Ainsi les problèmes relatifs à la faible motivation des étudiants pour choisir l'étude de la physique à l'université jouent un rôle très important dans la crise actuelle des départements de physique. Par conséquent, le rôle de la recherche en didactique dans ce domaine est très important, cette recherche devrait étudier la motivation et l'intérêt des étudiants.

Les questions de recherche pourraient être les suivantes :

- Quelles sortes de sujet, de types d'enseignement et de média sont intéressants et motivants pour les étudiants ?
- Quelles sont les attentes des étudiants quand ils démarrent la physique à l'université ?
- Pendant un cours spécifique de physique, qu'est-ce qui est intéressant, qu'est-ce qui est ennuyeux pour les étudiants ?
- Quelles sont les raisons qui poussent les étudiants à quitter la physique après l'avoir étudiée quelque temps ?

Des méthodes de recherche ont déjà été développées dans ces domaines ; jusqu'à maintenant elles furent mises en oeuvre plus au lycée qu'à l'université (Fischer & Horstendahl, 1997). Il s'agit d'entretiens, de questions ouvertes, de questionnaires demandant aux étudiants, pour des domaines spécifiques, d'évaluer leur intérêt grâce à une série d'items pré-formulés (Häußler, 1987 ; Häußler et al., 1996). Nous avons sélectionné quelques résultats relatifs à l'enseignement de la physique à l'université. Dans une étude avec 25 étudiants de seconde année d'université en physique, von Aufschnaiter et al. (1997) ont trouvé, à un niveau général, que les étudiants étaient plutôt contents d'étudier la physique, mais que,

comparativement, ils étaient beaucoup moins contents de ce qu'on leur demandait d'effectuer pendant les TP de physique. Un autre résultat spécifique sur la motivation (non publié) provient d'un questionnaire ouvert passé, à Brême, à 30 étudiants de physique en première année : pour eux, les « mini-projets » introduits nouvellement (en fin du semestre, trois semaines de travail en laboratoire avec leurs propres questions de recherche) représentaient un des aspects les plus motivants de l'ensemble du cours ; 11 des 18 étudiants (sur les 30 passés) qui ont répondu à ce questionnaire ont mentionné spontanément les « mini-projets » comme un aspect très positif de cet enseignement : il a été cité bien plus souvent que les autres.

3.2. Recherche reliée à la compréhension de la physique par des étudiants

La recherche sur la compréhension de la physique par des élèves de tout âge a constitué un des efforts majeurs de la didactique de la physique pendant les trois dernières décennies.

Cette recherche a produit un important corpus de connaissances sur les conceptions alternatives des élèves en relation avec les concepts clés de la physique. De nombreuses études parallèles, menées dans tous les continents, ont produit des résultats se recouvrant au moins partiellement ; ces résultats sont publiés dans divers livres et journaux (Driver et al., 1994 ; Pfundt & Duit, 1998). Même les résultats au niveau de l'université indiquent que la différence entre ce qui est enseigné et ce qui est appris est beaucoup plus grande que ne le pensent de nombreux enseignants. Il semble qu'il y ait un sérieux décalage entre ce qui est traditionnellement enseigné en physique et ce que la plupart des étudiants ont appris, plus particulièrement dans les premières années d'université (Mazur, 1997 ; McDermott, 1997).

Ainsi, à partir de ces résultats relatifs à l'enseignement de la physique à l'université, plusieurs questions de recherche se posent pour la didactique.

– Comment la compréhension des concepts de base de la physique peut-elle être améliorée ? Cette question est reliée à tous les aspects de l'environnement d'apprentissage de la physique, tels que le contenu, les cours, les TP, le travail en groupe des élèves, etc.

– Comment peut-on évaluer la compréhension des étudiants ? Il semble clair que des tests tels que le FCI (Hestenes et al., 1992) ont une validité limitée, d'autres méthodes (voir ci-dessous) devraient être utilisées de manière complémentaire.

– Quels types de connaissance les étudiants ont-ils après ces cours de physique du début de l'université (capacité à résoudre des problèmes,

capacité à utiliser des outils mathématiques, compréhension des concepts de base et des lois) ?

– Quelle sont les strates ou composantes possibles des connaissances des étudiants après enseignement (Petri & Niedderer, 1998) ?

– Quelles connaissances ont-elles été acquises à partir des différents cours, selon les différentes approches (différence entre pré et post tests) ?

Certaines des nouvelles approches interactives, mises en oeuvre dans des universités des États-Unis, ont été évaluées :

– « Workshop Physics » (l'évaluation est donnée dans la « home page » de Laws : <http://physics.dickinson.edu/> , un « mot de passe » doit être demandé à P. Laws),

– « Peer Instructions : Getting students to think in class » (l'évaluation est donnée dans Mazur, 1997, et la « home page » de Mazur : <http://galileo.harvard.edu/>),

– « Physics by Inquiry » (pour l'évaluation voir particulièrement McDermott, 1997),

– « Using Interactive Lecture Demonstrations to Create an Active Learning Environment » (pour l'évaluation voir Thornton, 1997).

Aux États-Unis également, certains outils ont été développés pour fournir des évaluations standardisées de la compréhension des élèves, particulièrement en mécanique. Il s'agit :

– de l'inventaire du concept de force (FCI) par Hestenes & Halloun,

– du test de base de mécanique (mechanics base line test : MBT) par Hestenes & Wells,

– de l'évaluation conceptuelle de la force et du mouvement (FMCE) par Thornton & Sokoloff,

– d'un test de compréhension des graphes en cinématique (TUG-K) par Beichner (voir McDermott, 1997, p. 142).

Des tests similaires dans d'autres domaines sont actuellement développés (voir « home page » de P. Laws : <http://physics.dickinson.edu/> look for « conceptual learning assessments », un « mot de passe » doit être demandé à P. Laws). Mais d'autres méthodes devraient être utilisées pour obtenir des résultats qualitatifs complémentaires sur la compréhension des étudiants. Certaines de ces méthodes sont :

– des questionnaires écrits à questions ouvertes avec des « thinking-type questions » (Schecker, 1988a),

– des entretiens individuels avec des présentations d'expériences (McDermott, 1997),

– des entretiens où les étudiants doivent réaliser eux-mêmes de nouvelles expériences et répondre à des questions relatives à leurs actions et à leur compréhension (Schecker et al., 1998).

Ce paragraphe présente certains des résultats concernant la compréhension de la physique après l'enseignement au début de l'université. En Allemagne, Nachtigall (1985) a mené une étude concernant les étudiants du début de l'université après enseignement de la physique.

Un de ses résultats est que, à la fin de l'enseignement correspondant, plus de 50 % des étudiants ont des conceptions non-newtoniennes de la force. Aux États-Unis, Hestenes et d'autres chercheurs ont développé un test spécial pour détecter la compréhension du concept newtonien de force, appelé le « *Force Concept Inventory (FCI)* » (Hestenes et al., 1992). Pour analyser la compréhension du concept de force, Hake a utilisé ce test lors d'une étude très importante portant sur environ 6000 étudiants en physique dans différentes institutions des États-Unis (« colleges » et universités). Il a trouvé que la compréhension des étudiants a peu évolué dans le cas des cours « traditionnels » alors qu'une évolution plus importante est apparue dans le cas des « cours interactifs ». Cependant il n'a trouvé à peu près aucun cours avec plus de 70 % d'étudiants ayant évolué positivement (Hake, 1998a).

Dans notre groupe de recherche, nous avons mené, à petite échelle, une investigation de cette sorte pour vérifier les effets de plusieurs innovations dans un cours du début de l'université fait pour de futurs professeurs à l'université de Brême (Sander & Niedderer, 1998). Nous avons modifié les cours pour avoir des formes plus interactives, nous avons incorporé de nouvelles technologies – plus spécifiquement un logiciel de modélisation (STELLA) – dans les cours et les TP, et nous avons changé les feuilles (cahiers) de TP pour proposer des tâches plus ouvertes. Nous avons analysé les effets de tout ceci avec une méthode utilisant un groupe contrôle, et avons comparé les pré- et post-tests réalisés avec les tests FCI et MBT pour les cours expérimentaux et ceux plus traditionnels pour les étudiants ayant choisi la physique en priorité. Le niveau en physique de ces étudiants était plus élevé à la fois au pré et post tests, mais insuffisant : le pourcentage de réponses correctes, même au post-test, était loin de 100 %, puisque de 64 % en moyenne. Cependant, les acquisitions pour les cours expérimentaux (le gain entre le pré- et post-test est en moyenne 16 % étaient plus élevées que pour le cours traditionnel (le gain est en moyenne de 11 %), mais pas aussi importantes que ce que nous avons supposé ou espéré. Ainsi, ce type de résultats montre le besoin de travaux plus

approfondis, analysant les effets des différents éléments de l'environnement d'apprentissage.

3.3. Études de processus d'apprentissage

Ces recherches sur la compréhension soulèvent deux importantes questions. La première est qu'elles donnent des résultats globaux sur la compréhension à la fin d'un cours, mais pas d'information sur les effets d'apprentissage d'éléments spécifiques de l'environnement : contenus spécifiques, cours, TP, didacticiels, etc. Ce problème conduit à développer des « *expériences d'enseignement* » (Niedderer & Goldberg, 1995 ; Duit & Komorek, 1997). Un autre problème est que ces études visent à analyser seulement si, à la fin d'un cours, un point de vue scientifique est maîtrisé ou non par les étudiants. Elles ne prennent pas en compte l'éventualité de nouvelles conceptions intermédiaires construites par les étudiants, en analysant l'état final de manière plus différenciée ou en analysant le processus cognitif se déroulant tout au long de l'apprentissage pendant l'ensemble du cours. Cette question peut être résolue en menant des « *études de processus d'apprentissage* » (Niedderer et al., 1992 ; Tiberghien, 1997). Les deux types peuvent être combinés pour donner des résultats optimaux.

Jusqu'ici ces études ont été généralement réalisées avec des petits nombres d'étudiants ; elles peuvent apporter des éclairages de type qualitatif mais rarement donner lieu à une analyse statistique des processus d'apprentissage pour de grands nombres d'étudiants (Thornton, 1997). De manière générale, ce type de recherche a montré qu'on trouve habituellement des conceptions, ou des notions, intermédiaires entre les conceptions de la vie quotidienne et le concept scientifique visé par l'enseignant. Dykstra (1992) décrit une série de changements conceptuels en relation avec le concept de force. Il nomme les différentes conceptions :

- (1) conception initiale,
- (2) conception initiale perfectionnée,
- (3) première version de conception newtonienne,
- (4) conception newtonienne perfectionnée.

Tiberghien (1997) parle de notions intermédiaires relatives à la chaleur et la température. À partir de ses investigations empiriques, elle décrit ces notions intermédiaires développées par les étudiants, qui se situent entre leurs conceptions initiales de la vie quotidienne et ce qui était visé par l'enseignement. À partir de ces recherches, elle reformule des objectifs plus

réalistes pour l'enseignement « *Le but est de permettre la conception de situations d'enseignement plus favorables à l'apprentissage* », (Tiberghien, 1997, p. 359).

Galili et al. (1993) parlent d'états intermédiaires pour l'apprentissage en optique géométrique. Thornton (1997) parle de dynamique conceptuelle, en suivant les évolutions des notions de force et de mouvement chez les étudiants. Dans les expériences d'enseignement, une démarche d'enseignement particulière est enseignée à un petit nombre d'étudiants dans une sorte de situation de laboratoire ; le processus complet est enregistré au magnéto -scope ou -phone, puis transcrit, et une attention particulière est portée aux réponses des étudiants à des parties spécifiques de l'environnement d'apprentissage. Tout ceci est analysé par des méthodes qualitatives d'interprétation. Niederrerr & Goldberg (1995) ont décrit une telle expérience d'enseignement auprès de trois étudiants de collège dans le champ de l'apprentissage des circuits électriques. De manière similaire, Sander & Niedderer (1998) analysent les effets de l'utilisation d'un logiciel de modélisation (STELLA) intégré dans les TP de physique au début de l'université. Duit & Komorek (1997) ont réalisé ce type d'expérience d'enseignement dans le champ du chaos déterministe. Schoster & von Aufschnaiter 1998 réalisent des recherches semblables auprès d'étudiants du onzième grade (1ère des lycées) et dans les TP de physique à l'université. Ils utilisent des « cartes spéciales » : les étudiants reçoivent quatre sortes de cartes donnant :

- (1) les tâches expérimentales,
- (2) des informations simples que les étudiants peuvent choisir d'utiliser ou non,
- (3) des hypothèses spécifiques,
- (4) des informations théoriques de haut niveau.

Les deux dernières cartes sont introduites par l'enseignant ou le chercheur. Ils analysent leurs effets en termes de niveaux de complexité de l'information enseignée et des productions des étudiants (Schoster & von Aufschnaiter, 1998).

Dans ce type de travaux, des questions possibles de recherche sont les suivantes :

- Quels sont les états intermédiaires de connaissance pendant le processus d'apprentissage se déroulant lors d'un cours ?
- Quel est l'état de connaissance à la fin d'un cours ? Nous supposons qu'on ne doit pas s'attendre à une seule vue, une seule conception – qu'elle soit correcte scientifiquement ou plus proche de la vie quotidienne –, mais

plutôt que les étudiants, après enseignement, disposent de différentes vues, différentes conceptions. Nous parlons de différentes strates ayant une intensité et un statut différents (Petri & Niedderer, 1998).

– Quels sont les effets d'éléments spécifiques de l'environnement d'apprentissage sur le développement des connaissances des étudiants ?

Ces études peuvent prendre différentes formes, plus centrées sur un dispositif de type « avant-après » ou sur une sorte d'image stroboscopique de plusieurs instantanés au cours du temps ou sur des études de processus, mais pour seulement quelques étudiants (Niedderer et al., 1992).

3.4. Recherches sur les cours magistraux

Les cours de physique à l'université sont plutôt traditionnels. Leur but principal est de fournir aux étudiants une information compétente (au sens qu'elle est correcte et importante en physique) et pertinente, aussi claire que possible. On considère plus ou moins que les étudiants prennent cette information, et ceci signifie apprentissage (voir figure 1). Une vision plus constructiviste de l'apprentissage essaierait certainement d'y ajouter un engagement plus actif ou interactif de la part des étudiants. Plusieurs suggestions de ce type existent, de l'instruction entre pairs (Mazur, 1997) à d'autres formes de cours interactifs (van Heuvelen, 1997), la version extrême étant de ne plus avoir de cours du tout (Laws, 1997). Le fameux cycle d'apprentissage selon Zollman (1997) est également un exemple de ce type d'introduction de formes plus interactives dans les cours.

Dans la mesure où le rôle des cours est crucial pour l'enseignement universitaire, la recherche pourrait se centrer sur l'efficacité des cours. En principe, ceci peut être traité seulement par des méthodes fortement liées temporellement au déroulement du cours. Après chaque cours, par des questions ouvertes, on peut demander aux étudiants ce qu'ils ont appris ou, plus généralement, quel profit ils ont tiré de ce cours. De plus, on peut réaliser des entretiens pour tester leur compréhension du contenu du cours.

Des questions possibles de recherche seraient par exemple :

– Quelle est la contribution des cours à la compréhension et à l'apprentissage de la physique ?

– Quel est le point de vue des étudiants sur différents types de cours ?

– Comment les effets de motivation des étudiants et d'apprentissage de la physique diffèrent selon différents types de cours ?

– Du point de vue des étudiants, quels sont les principaux critères d'un bon enseignement sous forme de cours ?

– Quelle vision de l'apprentissage (plus active ou plus passive) les étudiants ont-ils ? Quelles sont leurs métaconnaissances sur l'apprentissage (Gunstone, 1992) ?

3.5. Recherches concernant l'utilisation des nouvelles technologies

Des ordinateurs peuvent être introduits de nombreuses manières dans l'enseignement de la physique à l'université : ils peuvent être utilisés en cours ou en TP, pour la prise de données et la présentation graphique en temps réel des résultats aussi bien que pour la modélisation théorique, dans des labos informatisés à l'université ou chez soi sur son PC personnel, éventuellement connectés par internet (Thornton & Sokoloff, 1990 ; Goldberg, 1997 ; Niedderer & Schecker, 1997). On trouve d'intéressants résultats concernant les effets positifs :

- de l'utilisation de nouvelles technologies sur la motivation,
- de l'utilisation de démonstrations pendant les cours avec une interaction grâce au micro-computer,
- de l'utilisation d'un logiciel de modélisation pour montrer les graphes en temps réel, et demander aux étudiants de prédire et de décrire (Thornton, 1997),
- de l'utilisation d'un logiciel de modélisation comme STELLA (Schecker, 1998 ; Niedderer et al., 1998).

Cependant, les expériences d'utilisation pratique des ordinateurs en cours et en TP soulèvent de sérieuses questions. Une hypothèse, par exemple, est que l'utilisation de l'ordinateur, au lieu de favoriser l'apprentissage et la communication, pourrait conduire à un usage plus technologique en cliquant ici et là et ainsi dispenser même de penser.

La recherche dans ce domaine semble donc importante. Quelques questions de recherche possibles seraient :

- Quels sont les effets positifs et négatifs de l'utilisation des nouvelles technologies sur la motivation des étudiants ?
- Quels sont les effets positifs et négatifs de l'utilisation des nouvelles technologies sur la compréhension et l'apprentissage de la physique ?
- Comment les technologies informatiques peuvent-elles être utilisées pour développer la motivation et l'apprentissage des étudiants en physique ?

Cette question de recherche doit être analysée pour différents types de logiciels, pour les cours et les TP pris séparément, et conduire à de meilleures stratégies d'enseignement pour les cours et un meilleur guidage des TP par les tuteurs et les feuilles de TP.

3.6. Recherches sur les travaux pratiques

Les travaux pratiques dans l'enseignement de la physique à l'université peuvent servir différents objectifs (Welzel et al., 1998). Peut-être les objectifs les plus importants sont-ils de relier théorie et pratique, de développer des compétences expérimentales et de développer la motivation des étudiants pour l'étude de la physique. De nombreux résultats de recherche semblent montrer que les TP traditionnels à l'université échouent au moins à promouvoir le premier et le troisième de ces objectifs ; ils ont tendance à conduire les étudiants à travailler avec des guides (feuilles) de TP de type recette, plus « avec les mains » qu'« avec l'esprit » (Lunetta, 1998). Cependant, des recherches en cours montrent que certains changements dans les feuilles de TP, ainsi que la formation des tuteurs et des TP plus ouverts peuvent avoir des effets positifs (Bécu-Robinault & Tiberghien, 1998 ; Niedderer et al., 1998).

Des hypothèses spécifiques du projet européen « Les travaux de laboratoire dans l'enseignement des sciences » (Séré et al., 1998) concernant les TP à l'université sont les suivantes.

Différentes formes de TP (plus ou moins ouvertes, manipulations ou expériences de démonstration) sont nécessaires pour atteindre différents objectifs. Dans une séquence de TP, différentes formes devraient être combinées pour faciliter l'apprentissage de différents types de connaissances conceptuelles et procédurales par les étudiants.

Les professeurs et/ou l'équipe d'enseignement (à l'université) jouent un rôle essentiel dans les TP. Des documents spéciaux, pour les enseignants et l'équipe d'enseignement, et des programmes de formation doivent être développés. Ces documents visent à ce que les étudiants atteignent effectivement les objectifs précisés ci-avant.

Une troisième hypothèse concerne l'importance du guidage des élèves en TP dans la structure des feuilles-guides. Une recherche (Tiberghien et al., 1998) montre que la plupart des feuilles de travaux pratiques sont très contraignantes. Par ailleurs, à partir d'une recherche sur les objectifs des travaux pratiques (Welzel et al., 1998), nous savons que les enseignants – et les étudiants – les voient comme une bonne opportunité de mieux relier théorie et pratique et de développer la pensée scientifique par des TP

ouverts. L'utilisation d'une stratégie spécifique d'activités explicites des étudiants de « *prédiction - observation - explication (POE)* » (Champagne et al., 1985) peut également contribuer, de manière significative, à l'objectif « relier théorie et pratique », à la fois par des expériences de cours et par des manipulations (au cours des TP).

Ainsi, des questions de recherche sur les travaux de laboratoire pourraient être :

– Quels types de processus d'apprentissage se déroulent durant des TP ?

– Si des travaux pratiques spécifiques visent certains objectifs, dans quelle mesure le TP est-il efficace par rapport à ces objectifs ?

– Après une formation des tuteurs, comment les interactions du tuteur avec les étudiants pendant les TP sont-elles modifiées ?

– Si une feuille de TP a été modifiée, en quoi ce changement modifie-t-il le travail des étudiants pendant le TP ?

– Quel type de TP est-il motivant pour les étudiants ?

La recherche sur l'éducation scientifique a déjà commencé à analyser l'apprentissage des étudiants pendant les TP en faisant des enregistrements vidéo du travail de groupes d'étudiants.

L'enregistrement vidéo continu de séances de TP et l'analyse de ces enregistrements ont été utilisés pour reconstruire les activités pendant les TP. Différentes méthodes ont été développées pour analyser les données. L'une d'elles consiste à utiliser une analyse interprétative des données vidéo et des transcriptions très détaillées pour décrire les processus d'apprentissage pendant les TP (Bécu-Robinault & Tiberghien, 1998 ; von Aufschnaiter & Welzel, 1998 ; Sander & Niedderer, 1998). D'une autre manière, les mêmes données vidéo peuvent être analysées sans transcriptions par une procédure de catégorisation, qui peut aider à traiter une plus grande quantité de données ; cette procédure permet de classer les activités des étudiants pendant les TP et d'évaluer leur capacité à utiliser la physique pendant ces activités (Niedderer et al., 1998).

4. CONCLUSION

L'enseignement de la physique à l'université apparaît comme un domaine intéressant pour la recherche didactique. Le rôle de la recherche didactique peut être d'initier de nouvelles et de meilleures formes d'enseignement dans les cours et les TP et de contrôler leurs effets sur la

motivation comme sur l'apprentissage et la compréhension de la physique. Différentes méthodes ont été utilisées, comme des tests et des questionnaires, différents types d'entretiens avec ou sans expériences et des méthodes utilisant des données vidéo tant pour les cours que pour les TP. Quelques questions de recherche intéressantes ont été listées pour chacune des rubriques ci-dessus. Le rôle de la recherche didactique peut être un moteur et un contrôle de qualité pour les innovations, si les collègues des départements de physique prennent conscience de la nécessité de changement et acceptent la coopération avec les didacticiens.

NOTES

1. D'autres types de recherche en didactique de la physique sont plus reliées au contenu de la physique lui-même, à de nouvelles expériences, à l'usage des nouvelles technologies, à une meilleure compréhension de la physique moderne etc.

2. Note des traducteurs : dans tout le texte, le début de l'université signifie les deux premières années d'université

BIBLIOGRAPHIE

- BÉCU-ROBINAULT K. & TIBERGHEN A. (1998). Integrating stable experiments in energy teaching. *International Journal of Science Education*, vol. 20, n° 1, pp. 99-114.
- CHAMPAGNE A.B., GUNSTONE R.F. & KLOPFER L.E. (1985). Effecting changes in cognitive structure among physics students. In L. West & L. Pines (Éds), *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, Academic Press, pp. 163-187.
- DRIVER R., SQUIRES A., RUSHWORTH P. & WOOD-ROBINSON V. (1994). *Making Sense of Secondary Science - Research into Children's Ideas*. London/New York, Routledge.
- DUIT R., GOLDBERG F. & NIEDERRER H. (1992) (Éds). *Research in Physics Learning – Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel, IPN.
- DUIT R. & KOMOREK M. (1997). Understanding the basic ideas of chaos-theory in a study of limited predictability. *International Journal of Science Education*, vol. 19, n° 3, pp. 247-264.
- DYKSTRA D.I. (1992). Studying conceptual change : Constructing new understandings. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Éds), *Research in physics learning : Theoretical issues and empirical studies*. Kiel, IPN, pp. 40-58.
- FISCHER H.E & HORSTENDAHL M. (1997). Motivation and Learning Physics. *Research in Science Education*, vol. 27, n° 3, pp. 411-424.
- FISCHLER H. (1994). Concerning the difference between intention and action : Teachers' conceptions and actions in physics teaching. In I. Carlgren, G. Handal & S. Vaage (Éds), *Teachers' minds and actions : Research on teachers' thinking and practice*. London, The Falmer Press, pp. 165-180.

- GALILI I., BENDALL S & GOLDBERG F.M. (1993). The effects of prior knowledge and instruction on understanding image formation. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, n° 3, pp. 271-301.
- GOLDBERG F. (1997). How can computer technology be used to promote learning and communication among physics teachers? In E.F. Redish, J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education*. Woodbury, American Institute of Physics, pp. 375-391.
- GUNSTONE R.F. (1992). Constructivism and metacognition : Theoretical issues and classroom studies. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Éds), *Research in physics learning : Theoretical issues and empirical studies*. Kiel, IPN, pp. 129-140.
- HAKE R.R. (1998a). Interactive-engagement versus traditional methods : A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, vol. 66, n° 1, pp. 64-74.
- HAKE R.R. (1998b). Interactive-engagement methods in introductory mechanics courses. Submitted to the potential new. *Journal of Physics Education Research* on 1998, <http://carini.physics.indiana.edu/SDI/>.
- HÄUßLER P. (1987). Measuring students' interest in physics - design and results of a cross-sectional study in the Federal Republic of Germany. *International Journal of Science Education*, vol. 9, n° 1, pp. 79-92.
- HÄUßLER P., HOFFMANN L., LANGEHEINE R., ROST J. & SIEVERS K. (1996). Qualitative Unterschiede im Interesse an Physik und Konsequenzen für den Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, vol. 2, n° 3, pp. 57-69.
- HESTENES D., WELLS M. & SWACKHAMER G. (1992). Force Concept Inventory. *Physic Teaching*, vol. 30, n° 3, pp. 141-158.
- HESTENES D. & WELLS M. (1992). A Mechanics Baseline Test. *Physic Teaching*, vol. 30, n° 3, pp. 159-166.
- LAWS P. (1997). Millikan Lecture 1996 : Promoting active learning based on physics education research in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, vol. 65, n° 1, pp. 13-21.
- LUNETTA V.N. (1998). The School Science Laboratory : Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In K. Tobin & B. Fraser (Éds), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Kluwer, pp. 249-262.
- MAZUR E. (1997). *Peer Instruction - A User's Manual*. Upper Saddle River, Prentice Hall, et <http://galileo.harvard.edu/>.
- MCDERMOTT L.C. (1997). Bridging the gap between teaching and learning: The role of research. In E.F. Redish & J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities. Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education*. Woodbury, American Institute of Physics, pp. 139-166.
- NACHTIGALL D. (1985). Misconceptions in physics and a strategy to overcome them. In P.L. Lijnse (Éd.), *The many faces of teaching and learning mechanics in secondary and tertiary education*. Utrecht, GIREP/SVO/UNESCO, pp. 296-302.
- NIEDDERER H., GOLDBERG F & DUIT R. (1992). Towards learning process studies : A review of the workshop on research in physics learning. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Éds), *Research in Physics Learning - Theoretical Issues and Empirical Studie, Proceedings of an International Workshop in Bremen*. Kiel, IPN, pp. 10-28.
- NIEDDERER H. & GOLDBERG F (1995). Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, vol. 1, n° 1, pp. 73-86.
- NIEDDERER H. & SCHECKER H. (1997). Laboratory tasks with MBL and MBS for prospective highschool teachers. In E.F. Redish & J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics*

- Departments in Modern Universities, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education.* Woodbury, American Institute of Physics, pp. 461-474.
- NIEDDERER H., TIBERGHIE A., BUTY C., HALLER K., HUCKE L., SANDER F., FISCHER H.E., SCHECKER H., AUFSCHNAITER S. & WELZEL M. (1998). *Category Based Analysis of Videotapes from Labwork (CBAV) - the Method and Results from four Case-Studies.* Working paper 9 from the European project labwork in science education (Targeted Socio-Economic Research Programme, Project PL 95-2005), <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/labwork/>.
- PETRI J. & NIEDDERER H. (1998). A Learning Pathway in High-School Level Quantum Atomic Physics. *International Journal of Science Education*, vol. 20, n° 9, pp. 1075-1088.
- PFUNDT H. & DUIT R. (1998). *Bibliography « Students' Alternative Frameworks and Science Education ».* Kiel, IPN, Distributed electronically by DUIT@ipn.uni-Kiel.de.
- REDISH E.F. & RIGDEN J.S. (1997). *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities. Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education.* Woodbury, American Institute of Physics.
(A part of the book is available on Internet, <http://www.psrc-online.org/Class/class.html>.)
- SANDER F. & NIEDDERER H. (1998). Einsatz des Computers im physikalischen Praktikum – eine Lernprozessstudie –. In H. Behrendt (Éd.), *Zur Didaktik der Physik und Chemie.* Alsbach, Leuchtturm, pp. 316-318.
- SCHECKER H. (1988a). Denkaufgaben zum Kraftbegriff. *Naturwissenschaften im Unterricht*, vol. 36, n° 4, pp. 36-39.
- SCHECKER H. (1998b). Integration of Experimenting and Modeling by Advanced Educational Technology : Examples from Nuclear Physics. In K. Tobin & B.J. Fraser (Éds), *The International Handbook of Science Education vol. 1.* Dordrecht, Kluwer, pp. 383-398.
- SCHECKER H. & GERDES J., 1998. Interviews über Experimente zu Bewegungsvorgängen (Interviews about experiments with force and motion). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, vol. 4, n° 3, pp. 61-74.
- SCHOSTER A. & AUFSCHNAITER S. (1998). The Influence of Different Complex Learning Environments on Cognitive Processes. *Paper presented at the International Conference on Practical Work.* Copenhagen, May 20-23.
- SÉRÉ M.-G., LEACH J., NIEDDERER H., PSILLOS D., TIBERGHIE A. & VICENTINI M. (1998). Improving Science Education : issues and research on innovative empirical and computer-based approaches to labwork in Europe (Project « Labwork in Science Education » SO E2 CT 95 2001; PL 95 2005) funded by the European Commission under the Targeted Socio-Economic Research Programme (TSER). Final report and Working papers 1 - 10. *CORDIS site of the European Commission* <http://www.cordis.lu/tser/src/ct2001w.htm> or <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/labwork/>.
- THORNTON R.K. & SOKOLOFF D. (1990). Learning motion concepts using real time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics*, vol. 58, n° 9, pp. 858-867.
- THORNTON R.K. (1997). Conceptual dynamics: Following changing student views of force and motion. In E.F. Redish & J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education.* Woodbury, American Institute of Physics, pp. 241-266.
- TIBERGHIE A. (1997). Learning and teaching : Differentiation and Relation. *Research in Science Education*, vol. 27, n° 3, pp. 359-382.
- TIBERGHIE A., VEILLARD L., LE MARÉCHAL J.F. & BUTY C. (1998) Analysis of labwork sheets used in regular labwork at the upper secondary school and the first years of

University. Working paper 3 from the European project Labwork in science education (Targeted Socio-Economic Research Programme, Project PL 95-2005), *CORDIS site of the European Commission*, <http://www.cordis.lu/tser/src/ct2001w.htm> et site: <http://sir.univ-lyon2.fr/GRIC-COAST/Labwork/lse.html>.

- VAN HEUVELEN A. (1997). Using interactive simulations to enhance conceptual development and problem solving skills. In E.F. Redish & J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education*. Woodbury, American Institute of Physics, pp. 1119-1135.
- VON AUFSCHNAITER C., WELZEL M. & HALLER K. (1997). Physikalisches Praktikum - interessant, wichtig, schwierig. In Deutsche Physikalische Gesellschaft, Fachverband Didaktik der Physik (Hrsg.). *Didaktik der Physik : Vorträge-Physikertagung 1997-Berlin*. Bad Honnef: DPG, pp. 724-729.
- VON AUFSCHNAITER S. & Welzel M. (à paraître). Individual Learning Processes - a Research Program with Focus on the Complexity of Situated Cognition. *Proceedings of the 1st. European Conference of ESERA*, Rome.
- WELZEL M., HALLER K., BANDIERA M., HAMMELEV D., KOUMARAS P., NIEDDERER H., PAULSEN A., ROBINAULT K. & VON AUFSCHNAITER S. (1998). Ziele, die Lehrende mit experimentellem Arbeiten in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbindenden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*, vol. 4 , n° 1, pp. 29-44.
- WELZEL M., HALLER K., BANDIERA M., HAMMELEV D., KOUMARAS P., NIEDDERER H., PAULSEN A., BÉCU-ROBINAULT K. & VON AUFSCHNAITER S. (1998). Teachers' objectives for labwork. Research tool and cross country results working paper 6 from the European project labwork in science education, *Targeted Socio-Economic Research Programme, Project PL 95-2005*. <http://www.cordis.lu/tser/src/ct2001w.htm> ou <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/labwork/>.
- ZOLLMAND D. (1997). Learning cycle physics. In E.F. Redish & J.S. Rigden (Éds), *The Changing Role of Physics Departments in Modern Universities, Proceedings of International Conference on Undergraduate Physics Education*. Woodbury, American Institute of Physics, pp. 1137-1149.