

L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉNERGIE AU COLLÈGE VU PAR LES ENSEIGNANTS. GRILLE D'ANALYSE DE LEURS CONCEPTIONS

Dimitris Koliopoulos
Konstantinos Ravanis

L'établissement de liens nécessaires entre l'enseignement scientifique et la didactique des sciences physiques nous conduit à étudier les conceptions des enseignants concernant différents aspects de l'enseignement des sciences physiques de manière qu'elles soient conscientes et utilisables, en même temps par l'enseignant et le chercheur. L'article présente une classification des programmes d'enseignement secondaire concernant l'énergie qui a été utilisée comme outil d'analyse et d'évaluation des conceptions des enseignants sur l'enseignement expérimental de l'énergie. Dans le cadre de cette nouvelle classification, nous distinguons trois types de programme : le "traditionnel" où le concept d'énergie est dispersé dans plusieurs unités thématiques possédant une autonomie conceptuelle dans chacune de ces unités ; l'"innovatif" où l'énergie constitue un élément organisateur du programme et le "constructiviste" qui prend en considération les représentations des élèves et les obstacles cognitifs à dépasser. Cette classification est appliquée à une étude des conceptions des enseignants scientifiques en formation qui planifient une série d'activités expérimentales concernant le concept d'énergie. Les résultats de notre étude nous conduisent à discuter l'intérêt de la classification comme moyen de communication entre l'enseignant scientifique et le chercheur en didactique des sciences physiques.

1. LA PROBLÉMATIQUE

ce n'est pas possible de fonder entièrement la formation professionnelle sur les seuls résultats de la recherche, alors...

Le cadre dans lequel se développe l'enseignement des sciences physiques est défini par le genre du curriculum, les contraintes matérielles imposées par les conditions réelles de travail, et par les conceptions des enseignants quant à leur travail, les sciences physiques et l'apprentissage. Une série de questions pourrait alors se poser : quelle est la séquence des unités didactiques qu'ils choisissent et pourquoi ? Comment les enseignants procèdent-ils à la fragmentation d'une plus grande unité en sections ? Quand tentent-ils de réaliser des activités expérimentales et comment les proposent-ils aux élèves ? Quelles sont les objectifs particuliers de ces activités expérimentales ?

Les réponses à toutes ces questions présupposent une série d'acceptations qui ne peuvent cependant être instaurées qu'en fonction d'un certain nombre de critères relatifs au

développement du programme. Ces critères peuvent être formulés empiriquement, en fonction d'estimations subjectives quant à ce qui est nécessaire, utile et efficace, ou être puisés dans le cadre épistémologique de la didactique des sciences physiques, ce qui nous amènerait à supposer qu'ils constituent des outils pour la formation des enseignants. Or même si ces critères sont puisés dans la didactique des sciences physiques, il n'est pas certain que leur utilisation puisse dépasser la distinction formation théorique/formation pratique, compte tenu du fait que nous rencontrons très souvent *"une illusion propre aux chercheurs... que de croire qu'en principe... il va être possible de fonder entièrement la formation professionnelle sur les seuls résultats de la recherche"* (Martinand, 1994).

... il paraît nécessaire d'établir des outils de communication entre recherche en didactique et pratique pédagogique

Il paraît alors nécessaire d'établir des outils de communication entre recherche et pratique pédagogique, c'est-à-dire de créer un schéma qui permettra la formation d'un champ de référence commun entre chercheurs et enseignants. Dans cet article, nous présentons une grille de lecture dans laquelle nous opérons une classification des curriculums concernant le concept d'énergie au niveau du collège, étant donné que ce concept joue un rôle primordial tant au niveau de l'enseignement des sciences physiques puisqu'il fait partie de la majorité des programmes d'enseignement, qu'au niveau de la recherche en didactique des sciences physiques, ce qui se traduit par un grand nombre d'études sur le sujet (Koliopoulos & Tiberghien, 1986; Duit & Haeussler, 1994). Nous supposons ainsi qu'une telle grille pourrait, en vue de l'élucidation des conditions de travail au collège concernant l'enseignement de l'énergie, permettre sans doute aux chercheurs d'apprécier la signification des matériels et des décisions des enseignants, la codification et l'analyse des pratiques pédagogiques et des activités didactiques; et aux enseignants de prendre conscience de la cohérence de leurs choix, de mieux mettre en valeur les matériels et les manuels scolaires, et engendrer la rationalisation des réorganisations possibles de leur travail. Dans cet article est présentée aussi, en tant que première tentative d'application de cette grille, l'élaboration des conceptions d'une équipe d'enseignants qui ont participé à un séminaire de formation.

2. LA CLASSIFICATION DES CURRICULUMS

un langage commun entre chercheur et enseignant : la classification des curriculums concernant le concept de l'énergie

La classification à laquelle nous nous référons, n'est autre qu'un regroupement de conclusions provenant de l'analyse du contenu de programmes d'enseignement précis, qui constituent des approches connues et valides d'une série de curriculums de divers pays. Le principal critère de choix de ces programmes est leur caractère d'introduction du concept d'énergie au niveau du collège. Cette classification

ne correspond à aucun curriculum précis, mais il représente une sorte de modèle qui met à disposition un ensemble de caractéristiques générales pouvant se manifester entièrement ou partiellement dans des programmes d'enseignement appliqués. Ces caractéristiques générales proviennent en partie de conceptions explicites ou implicites, qui ont été transformées au niveau de la recherche réalisée dans le cadre de la didactique des sciences physiques, alors qu'il est en même temps possible d'expliquer des caractéristiques de la structure, du contenu et des activités proposées par les programmes appliqués. C'est ce second fonctionnement "explicatif" de notre classification qui intéresse principalement les enseignants, mais aussi les didacticiens dont l'objet de recherche est la formation des enseignants.

La classification comporte trois catégories de curriculum : le curriculum "traditionnel", le curriculum "innovatif" et le curriculum "constructiviste". La nature et les caractéristiques de ces catégories seront décrites de façon analytique par la suite.

2.1. Le curriculum "traditionnel"

Nous allons utiliser en tant que représentants du curriculum "traditionnel" concernant l'énergie, le programme d'enseignement anglais *Physics for you* (Johnson, 1991) ainsi que celui de physique en vigueur au collège grec (Zenakos et al., 1994). L'intention explicite ou implicite du curriculum traditionnel est que les élèves comprennent les sujets qui touchent principalement, pour ne pas dire uniquement, au contenu des sciences physiques. La conséquence d'une telle intention est que le curriculum traditionnel envisage tous les concepts de sciences physiques de la même façon. Aucun principe, aucune loi ou concept n'a de caractère privilégié.

le curriculum "traditionnel" est principalement caractérisé par la dispersion thématique et conceptuelle du concept de l'énergie

Une des caractéristiques principales du curriculum traditionnel qui découle de l'intention précédente, est la dispersion du concept d'énergie à travers les différentes unités thématiques. La façon fortuite d'introduction et d'analyse des divers concepts physiques et, par conséquence, celui d'énergie, semble être due au fait que même les sujets du curriculum traditionnel sont introduits de façon fortuite, puisqu'il n'existe pas d'autre critère extérieur - objectif didactique - hormis la compréhension du contenu de la science. Une des conséquences majeures de la caractéristique du curriculum traditionnel mentionnée précédemment est que l'étude du concept d'énergie devrait être réalisé dans des cadres conceptuels différents, et que dans chacun le concept d'énergie obtienne un sens systématique et empirique différent, c'est-à-dire une *autonomie conceptuelle* relative (Baltas, 1990). D'après les unités thématiques des programmes grec et anglais, sont juxtaposés et/ou sont mélangés les cadres conceptuels de la mécanique, de la

calorimétrie, de la thermodynamique, de la mécanique statistique, de l'électricité etc. Il semble qu'au niveau du collège, aucun rapport n'existe entre les différents cadres conceptuels. Résultat : l'étude du concept d'énergie représente chaque fois une approche indépendante. En s'appuyant sur cette analyse, la conclusion à laquelle on pourrait aboutir est que la juxtaposition de nombreux cadres conceptuels qui touchent au concept d'énergie et/ou le mélange de tels cadres dans de petites unités thématiques, réduit le fonctionnement du concept puisque à chaque fois l'élève est "chargé" d'un sens différent du même concept, et c'est ainsi qu'augmente le risque de tomber dans des malentendus conceptuels.

il est caractérisé aussi par une définition de l'énergie en tant que concept dérivé de la mécanique...

Une autre caractéristique essentielle du curriculum traditionnel est que le concept d'énergie est introduit soit en tant que concept dérivé du travail (dans le cadre conceptuel de la mécanique, par exemple) soit en tant que fonction des grandeurs observables qui décrivent le champ mono-phénoménologique d'application du concept (comme par exemple les cadres conceptuels de la calorimétrie et de l'électricité). La principale critique adressée au contenu conceptuel du curriculum traditionnel concerne exactement la définition de l'énergie en tant que concept dérivé dans le cadre de la mécanique. Cette approche est considérée comme insuffisante et fautive selon des critères scientifiques, sociaux et psychologiques (Lehrman, 1973; Arons, 1990). De même, les résultats des recherches empiriques qui se réfèrent aux conceptions des élèves quant au concept d'énergie confirment ce que les enseignants des sciences physiques connaissent très bien, c'est-à-dire que l'approche énergétique des phénomènes mécaniques est difficilement compréhensible par la majorité des élèves (Solomon, 1992; Driver et al., 1994). De plus, l'introduction du concept d'énergie en tant que fonction de mesures physiques observables limite l'approche énergétique au niveau quantitatif, alors que nous savons qu'une sorte de rapprochement entre les conceptions qualitatives pré-énergétiques des élèves et la nature quantitative de l'énergie est nécessaire (Koliopoulos, 1997).

... et par la sélection fortuite du champ d'application des concepts physiques

Une troisième caractéristique du curriculum traditionnel est la sélection fortuite du champ d'application des concepts physiques, c'est-à-dire du champ des phénomènes qui fonctionnent en tant qu'applications du cadre conceptuel en question. Ceci semble être un résultat de plus de la dispersion des concepts physiques dans les diverses unités thématiques du curriculum, étant donné que tous les phénomènes physiques constituent un champ phénoménologique d'application potentiel pour le concept d'énergie.

2.2. Le curriculum "innovatif"

Depuis la fin des années 60, des programmes d'enseignement qui s'appuient sur des restructurations conceptuelles du contenu des sciences physiques sont apparus. Celles-ci

favorisent dans ces programmes la revalorisation du concept d'énergie. Le curriculum innovatif se fonde sur ces restructurations qui reconnaissent d'une part l'importance fondamentale du principe de conservation de l'énergie en sciences physiques, et, d'autre part, le caractère unificateur et inter-phénoménologique du concept d'énergie. En tant que représentants de cette tendance du programme innovatif, nous présenterons le programme américain "*Energy*" qui a été développé par Haber-Schaim (1983), ainsi qu'une de ses formes modifiée et développée en Israël par Shadmi et ses collaborateurs (Shadmi et al., 1978). Une deuxième tendance du programme innovatif apparaît à la fin des années 70, quand la crise du pétrole mobilise les systèmes éducatifs des pays industriellement développés, qui réagissent en élaborant des curriculums dans lesquels est accentuée non seulement l'importance primordiale du concept pour les sciences physiques, mais aussi son importance sociale, puisqu'elle est intimement liée à des problèmes comme celui de l'économie d'énergie. En tant que représentant de cette tendance du programme innovatif, nous présenterons le programme français "*Sciences Physiques, Libres Parcours*" (Agabra et al., 1979).

le curriculum "innovatif" est principalement caractérisé par la considération de l'énergie comme principe organisateur d'une large unité ou du programme

Dans le curriculum innovatif, nous passons donc de la dispersion du concept d'énergie en diverses unités thématiques, à une plus large unité conceptuelle ou même au fait de considérer l'énergie comme principe organisateur du curriculum en entier. Ainsi, le principal élément unificateur de la série d'unités qui apparaît dans les différents types du programme "*Energy*" est le concept de transformation des formes d'énergie de façon à ce que soit confirmé le principe fondamental de la conservation de l'énergie. Une semblable organisation conceptuelle du contenu est aussi observée dans le programme français où le concept de transfert d'énergie joue surtout le rôle unificateur principal dans l'étude des diverses activités.

soit les intentions scientifiques dominant...

Les intentions particulières et les objectifs du curriculum innovatif ont des conséquences non seulement sur la structure du programme, mais aussi sur son contenu conceptuel. Dans le cas de la tendance du curriculum innovatif où le rôle principal est joué par le contenu de la science, l'énergie est introduite en tant que concept premier alors qu'est souligné son caractère unificateur et inter-phénoménologique, qui est assuré à travers le principe de conservation de l'énergie. L'étude de la chaleur par exemple, en tant que fonction de la masse, de la chaleur spécifique et de la variation de température d'une quantité de liquide qui, dans le curriculum traditionnel, représentait un objet d'étude autonome, acquiert désormais du sens uniquement à travers le processus de transformation d'une autre forme d'énergie en chaleur (Shadmi et al., 1978). Dans le cas de la deuxième tendance du curriculum innovatif, où les intentions scientifiques et sociales constituent un ensemble plus équilibré d'objectifs didactiques, l'énergie est également présentée

soit elles s'équilibrent avec les intentions sociales

comme un concept premier alors qu'en même temps est choisi le cadre théorique de la thermodynamique en tant qu'unique cadre conceptuel de référence. Dans le programme d'enseignement en question, la forme que prend la transposition didactique du cadre conceptuel de la thermodynamique est celle de divers modèles de la chaîne énergétique. Dans le programme français, selon ce modèle, l'énergie est introduite en tant que mesure physique commune qui caractérise des types différents de réservoirs d'énergie, même si elle est présentée sous différentes formes. Parallèlement, une distinction claire est faite entre l'énergie qui décrit l'état d'un système et le transfert d'énergie qui dénote la "phénoménologie" de transfert d'énergie. De même, le principe de conservation de l'énergie est suivi du concept de dégradation d'énergie, imposé plutôt par l'approche technologique et les exigences sociales que par l'approche scientifique du concept.

le champ d'application du concept d'énergie est étendu à cause de la nature inter-phénoménologique du concept

Dans le curriculum innovatif le champ d'application du concept d'énergie est étendu, comme cela arrive d'ailleurs dans le programme traditionnel à cause de la nature inter-phénoménologique du concept. Dans le cas cependant du programme innovatif, ce champ sert surtout le rôle unificateur du concept d'énergie. Ainsi, les mêmes phénomènes physiques, dont l'étude dans le programme traditionnel exige des cadres conceptuels différents où l'énergie acquiert des significations différentes, sont, dans le programme innovatif, abordés conceptuellement de la même façon. Dans le programme israélien par exemple, le champ d'application est inter-phénoménologique et sert toujours l'étude des transformations et de la conservation de l'énergie. Dans ce programme, est tentée "pas à pas" une approche expérimentale qualitative et quantitative des diverses formes d'énergie à travers l'étude de leur transformation. Le champ d'application du programme français est aussi inter-phénoménologique. Le caractère inter-phénoménologique du champ d'application dans la deuxième tendance du curriculum innovatif est explicable non seulement parce qu'il sert le cadre conceptuel des chaînes énergétiques, qui de nature contient le transfert et le stockage de l'énergie en réservoirs ayant des caractéristiques phénoménologiques différentes, mais aussi parce que le champ d'application se réfère à des sujets et problèmes de la vie quotidienne et de la technologie qui généralement ont un caractère inter-phénoménologique.

2.3. Le curriculum "constructiviste"

Il est évident que l'approche constructiviste de l'apprentissage et de l'enseignement ne forme pas encore de modèle unique d'enseignement et d'élaboration d'un curriculum. Les recherches autour de l'élaboration de programmes d'enseignement constructivistes servent divers objectifs de recherche et s'appuient sur différentes conceptions relatives à l'incorporation dans l'enseignement et le curriculum de

une version assez répandue du curriculum "constructiviste" est principalement caractérisée par la construction de modèles de la chaîne énergétique à partir de l'interaction des conceptions pré-énergétiques des élèves et d'un "modèle-germe"

conclusions scientifiques se référant aux conceptions des élèves à propos des concepts physiques. Le curriculum constructiviste auquel nous nous référons concerne des approches qui semblent former des propositions alternatives complètes d'enseignement de l'énergie dans le cadre des curriculums en vigueur et non pas à travers des approches restreintes où le processus d'élaboration du concept en fonction d'un nombre limité d'activités est examiné.

Nous allons utiliser en tant que représentant du curriculum "constructiviste" une approche didactique assez répandue (Koliopoulos & Ravanis, à paraître) qui s'appuie sur l'interaction des premières conceptions des élèves, et d'un "modèle-germe" explicatif ayant pour but l'élaboration des propriétés des divers modèles de la chaîne énergétique (Lemeignan & Weil-Barais, 1990; Tiberghien & Megalakaki, 1995; Koliopoulos, 1997). Cette approche inter-phénoménologique exige l'activation du raisonnement causal et linéaire "source-action-récepteur" que les élèves utilisent très fréquemment quand ils tentent de décrire et/ou d'expliquer le fonctionnement de divers systèmes physiques (Tiberghien, 1989; Psillos, 1995), il en résulte la formulation de conceptions que certains nomment *conceptions pré-énergétiques*, compatibles au niveau qualitatif avec certains modèles de la chaîne énergétique.

Les objectifs didactiques du curriculum constructiviste influencent plus ou moins, aussi bien l'organisation que la nature du contenu conceptuel des différentes approches didactiques. Un élément essentiel de la structuration conceptuelle de ces approches est qu'elles insistent tout d'abord sur les éléments qualitatifs de divers concepts en renforçant ainsi les conceptions pré-énergétiques des élèves qui progressivement évoluent dans des cadres quantitatifs. Par exemple, dans l'approche de Lemeignan & Weil-Barais (1993) sont introduits différents systèmes physiques (comme le circuit simple pile-ampoule, une maquette de voiture électrique, la lampe qui s'allume à l'aide d'une dynamo et de la chute d'un corps, etc.) dont les élèves doivent décrire et expliquer le fonctionnement, et tout d'abord au moyen de termes qualitatifs de la chaîne énergétique. Par la suite, on insiste sur la modification d'un montage pour faire varier un effet produit (que faire par exemple, pour que la lampe s'allume de la même manière plus longtemps? Ou, que faire pour que la voiture aille plus loin?), ce qui exige désormais l'utilisation du concept d'énergie en tant que quantité. Ainsi dans l'approche de Koliopoulos (1997), comme il a été constaté que les élèves expriment plus facilement des conceptions pré-énergétiques dans les phénomènes thermiques plutôt que dans les phénomènes mécaniques, l'introduction du "modèle-germe" se fait à travers les phénomènes thermiques, et ensuite est tentée son élaboration dans des phénomènes mécaniques au moyen d'analogies.

L'élaboration d'éléments de divers modèles de la chaîne énergétique représente, de toute façon, une des caractéristiques principales du curriculum constructiviste. La fonctionnalité de ce cadre conceptuel semble être due, tout d'abord, à la compatibilité du modèle avec le champ initial des conceptions des élèves pour le concept d'énergie, à savoir les conceptions pré-énergétiques. Cette compatibilité est due tant à des *ressemblances syntaxiques*, qu'au *genre de l'explication donnée* (explication causale selon laquelle la cause est en rapport avec les facteurs extérieurs du changement du système physique étudié (Halbwachs, 1973). Elle est également due à sa *puissance heuristique*. Cette dernière peut être résumée : a) à sa capacité de fonctionnement précis tant au niveau qualitatif qu'au niveau quantitatif, fait qui contribue considérablement au processus de transformation des concepts pré-énergétiques qualitatifs en concepts énergétiques quantitatifs, et, b) à ses propriétés analogiques qui permettent l'étude énergétique de divers champs de phénomènes à travers le même cadre conceptuel.

les objectifs didactiques du curriculum constructiviste influencent le champ phénoménologique d'application du concept d'énergie

Les objectifs didactiques du curriculum constructiviste semblent aussi influencer le champ phénoménologique d'application du concept d'énergie. Ceci est dû aux activités prévues qui ont désormais pour but de renforcer un certain nombre de conceptions des élèves, ou de contribuer au dépassement de certains obstacles conceptuels. Il en résulte une limitation du théoriquement inépuisable champ d'application du concept, ceci à cause des changements conceptuels recherchés. De même, ce champ apparaît non seulement comme un élément indépendant qui jouerait simplement le rôle de support phénoménologique, mais aussi comme un élément intimement lié à ses caractéristiques conceptuelles, afin d'élaborer un cadre conceptuel. C'est ainsi que sont mises en évidence des catégories de phénomènes physiques considérés comme privilégiés pour l'application du modèle conceptuel proposé. Il s'agit de phénomènes décrits en priorité par des modèles d'un système thermodynamique ouvert. Les élèves y reconnaissent une source d'énergie et un récepteur d'énergie "évidents"; c'est le cas pour le fonctionnement d'un simple circuit électrique que l'on rencontre dans tous les programmes qui utilisent des phénomènes électriques, des situations inter-phénoménologiques, comme le fonctionnement d'un modèle de machine thermique, l'allumage d'une lampe à l'aide d'une dynamo, la remontée d'un corps (Lemeignan & Weil-Barais, 1990; Tiberghien & Megalakaki, 1995) ainsi que des phénomènes mécaniques comme la déformation d'un ressort par un objet quelconque (Koliopoulos, 1997).

Pour récapituler, nous présentons dans le tableau 1 les principaux objectifs didactiques et les principales caractéristiques du contenu conceptuel qui en découlent, et cela dans les trois sortes de curriculum.

Tableau 1. Les trois types de curriculum traitant de l'énergie

	Curriculum "traditionnel"	Curriculum "innovatif"	Curriculum "constructiviste"
Intentions et objectifs didactiques principaux	<ul style="list-style-type: none"> - Il n'existe pas de rapport entre l'actuelle analyse épistémologique du contenu de la science, les exigences sociales et les facteurs psychologiques desquels semble dépendre l'apprentissage des concepts physiques. - Ils sont en rapport principalement pour ne pas dire exclusivement avec le contenu de la science. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ils découlent de l'analyse épistémologique du contenu du concept d'énergie. - Ils se réfèrent non seulement à l'importance principale du concept en sciences physiques mais aussi à l'intérêt provenant des problèmes sociaux. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ils proviennent de l'étude des conceptions des élèves concernant l'énergie, alors que coexistent l'analyse épistémologique systématique du contenu du concept en sciences physiques et la référence aux exigences et aux pratiques sociales. - La formulation est en général réalignée de façon à ce qu'apparaisse le processus d'élaboration conceptuelle sans pourtant qu'il y ait un seul type de formulation.
Caractéristiques principales de la structure et du contenu	<ul style="list-style-type: none"> - Dispersion du concept d'énergie en diverses unités thématiques / conceptuelles où lui est attribué un sens systémique et empirique différents. - L'énergie est en général étudiée en tant que concept dérivé du travail dans le cadre de la mécanique newtonienne, où a lieu l'étude principale. - Choix fortuit du champ d'application du concept d'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'énergie constitue une large unité conceptuelle ou un principe organisateur de tout le curriculum. Elle acquiert en général une signification unique pour toutes les unités thématiques, puisqu'elle est désormais intégrée dans un système conceptuel unique. - L'énergie est introduite en tant que concept premier, où est accentué le caractère unificateur et inter-phénoménologique qui est assuré à travers les concepts de transfert, de transformation et de conservation de l'énergie. - Le champ d'application du concept d'énergie contribue à la compréhension du caractère unificateur et inter-phénoménologique du concept d'énergie ainsi qu'à la description et à l'interprétation des situations et problèmes physiques qui proviennent de l'environnement social familial. 	<ul style="list-style-type: none"> - La séquence des unités conceptuelles est influencée surtout par les résultats de la recherche relatifs aux conceptions des élèves qualifiées comme pré-énergétiques. - L'énergie exige une unité conceptuelle unique où une élaboration progressive est tentée à travers l'introduction des différents modèles de la chaîne énergétique à partir d'un "modèle-germe". - Le champ phénoménologique d'application du concept d'énergie ne joue pas seulement le rôle du support phénoménologique mais apparaît comme un élément lié aux caractéristiques conceptuelles des différents modèles de la chaîne énergétique.

3. L'ANALYSE DES CONCEPTIONS DES ENSEIGNANTS À TRAVERS L'UTILISATION DE LA CLASSIFICATION

3.1. Cadre de l'analyse

la classification
de curriculums
concernant
le concept de
l'énergie comme
outil d'analyse
des conceptions
d'enseignants

Nous présentons la classification comme un outil d'analyse des conceptions de vingt enseignants qui ont participé à un séminaire de formation concernant l'enseignement expérimental de la physique. Il a été demandé à ces enseignants, qui avaient une dizaine d'années de pratique et qui avaient suivi d'autres séminaires en didactique des sciences physiques, de concevoir et de proposer un enseignement expérimental concernant le concept d'énergie au niveau du collège. Plus précisément, dans le but d'améliorer le programme grec traditionnel existant, il leur a été demandé : a) de concevoir une séquence d'unités thématiques relatives au concept d'énergie (qui pourrait être réalisée en une ou plusieurs heures d'enseignement) et de justifier leurs choix ; b) de proposer des activités expérimentales pour toute unité thématique où l'approche expérimentale est considérée comme indispensable. Les enseignants ont travaillé avant de se rendre au séminaire et ont présenté leurs propositions sous forme de rapport personnel et individuel. À la fin du séminaire, les chercheurs-formateurs ont présenté les résultats de leur analyse des travaux des enseignants, après quoi les enseignants, au cours d'une discussion, ont évalué leurs travaux selon le modèle de classification. Des deux analyses que nous tentons de réaliser, la première permet aux chercheurs de structurer les décisions et les pratiques des enseignants et la deuxième permet aux enseignants de se familiariser avec les approches des chercheurs et de revoir leurs travaux de façon critique.

3.2. L'analyse des données empiriques

• *Analyses des travaux des enseignants*

la possibilité
d'analyse
des conceptions
des enseignants
concernant leur
pratique
pédagogique
à l'aide de la
classification
de curriculums

Les idées exprimées dans les travaux des enseignants ont été analysées en fonction de la distinction des curriculums traditionnel, innovatif ou constructiviste, tout en suivant les éléments de base élaborés au cours de la classification, c'est-à-dire de la structuration du contenu conceptuel du programme, mentionnée dans la suite proposée des unités, de la nature du contenu conceptuel et du champ de phénomènes où s'applique le contenu. Cette analyse nous a conduits aux catégories des conceptions suivantes.

- **La conception "traditionnelle"**

La structuration du contenu conceptuel se réfère exclusivement au domaine de la mécanique. Ainsi, la séquence des unités *"Travail d'une force, Relation entre travail et énergie, Énergie potentielle et énergie cinétique, Conservation de*

le concept d'énergie est introduit comme un dérivé du concept de travail

l'énergie", proposée par un enseignant, représente un exemple caractéristique de cette conception exprimée par neuf enseignants. Nous soulignons que la dernière unité concernant la conservation de l'énergie ne représente pas de principe unificateur des propositions, mais un objet d'étude du concept d'énergie de même importance que les sujets des autres unités. Dans certains cas, est apparue une unité introductive portant le titre "*Généralités sur l'énergie*" ayant un caractère informatif, et qui ne constitue pas un élément essentiel dans la structuration de la proposition. Dans cette unité par exemple, on peut trouver l'importance sociale de l'énergie, ses différentes formes et sa possibilité de transformation d'une forme en une autre. En fait, le cadre conceptuel utilisé est celui de la mécanique où le concept d'énergie est introduit comme un dérivé du concept de travail. Enfin, les expériences proposées concernent surtout l'unité de conservation de l'énergie et sont réduites à la question de la transformation cinétique ou potentielle (de simples appareils de transformation d'énergie cinétique ou potentielle, par exemple).

- La conception "pseudo-innovative"

juxtaposition d'unités se référant à l'énergie mécanique et d'unités relatives au caractère interphénoménologique du concept

La structuration des propositions de cette conception exprimée par cinq enseignants, semble être une tentative de juxtaposition et/ou mélange des unités qui se réfèrent à l'énergie mécanique, et d'unités relatives au caractère interphénoménologique du concept. Deux exemples caractéristiques d'une telle structuration sont les suivants : "*Énergie (généralités), Formes d'énergie, Énergie mécanique, Travail, Conservation de l'énergie mécanique, Machines simples, Puissance, Crise énergétique et Travail*"; "*Puissance, Énergie cinétique et potentielle, Formes et transformation d'énergie, Conservation de l'énergie, Crise énergétique*". Les cinq enseignants qui expriment cette conception reconnaissent le rôle primordial que doit jouer le concept d'énergie dans le programme d'enseignement, mais ils ne parviennent pas à élaborer l'organisation conceptuelle adéquate pour y arriver. Ainsi, ont-ils recours à l'approche traditionnelle où l'importance de l'étude du concept se déplace vers les phénomènes mécaniques, et à l'approche "travail-énergie". Après avoir constaté que les élèves devaient avant tout reconnaître le rôle capital de l'énergie dans la vie quotidienne et dans l'activité technologique de l'homme, une enseignante déclare : "... *Après, l'étude de l'énergie mécanique et du travail va donner à l'élève une estimation plus "réelle" de l'énergie à travers l'étude des activités expérimentales.*" Les activités expérimentales systématiques que les enseignants partageant cette conception proposent, concernent surtout le champ des phénomènes mécaniques, et s'amenuisent au cours des expérimentations proposées par le manuel du curriculum traditionnel.

- La conception "innovative"

références
directes ou
indirectes au
cadre
conceptuel des
chaînes
énergétiques

Dans cette conception qu'expriment quatre enseignants, la structuration du contenu mais aussi les activités expérimentales proposées contribuent à l'idée de l'introduction de l'énergie en tant que concept premier à travers les propriétés du transfert, de la transformation, de la conservation et du rythme du transfert. Un exemple caractéristique de la structuration du contenu est le suivant : *"L'énergie comme entité physique stockée, Transfert d'énergie, Transformations d'énergie, Conservation d'énergie, Sources d'énergie, Coût et importance économique de l'énergie, Rythme de consommation de l'énergie"*. La tentative des enseignants consiste surtout à intégrer l'étude de l'énergie mécanique dans un nouveau cadre. De cette façon, certains se réfèrent directement, et d'autres indirectement, au cadre conceptuel des chaînes énergétiques. Une tentative est faite par exemple pour que *"le travail soit présenté comme une forme de transfert d'énergie"* ou que *"le rythme de consommation d'énergie soit distingué de la quantité d'énergie "disponible"*. Enfin, les activités expérimentales proposées s'intègrent à un champ inter-phénoménologique d'application du concept d'énergie, et ont comme intention principale le constat du principe de conservation de l'énergie et comme cas particulier, le constat du principe de conservation de l'énergie mécanique.

- La conception "pseudo-constructiviste"

importance des
idées préalables
des élèves :
connue mais
pas exploitée

Selon cette conception exprimée par deux enseignants, dans la conception du programme, les idées des élèves concernant l'énergie doivent être exprimées avant l'enseignement. Par la suite cependant, ces idées ont du mal à se rapprocher de l'organisation conceptuelle du contenu et des activités exigées pour un changement conceptuel. On ne peut justifier, par exemple, que les idées des élèves puissent influencer les unités thématiques de la séquence proposée : *"L'énergie et le mouvement, L'énergie et la chaleur, L'énergie et la nourriture, Les sources et l'économie d'énergie, Autres formes d'énergie"*, alors qu'en même temps aucune des stratégies de formation conceptuelle proposées par le curriculum constructiviste ne possède d'éléments de ces idées. Il paraît évident que cette conception a été influencée par les séminaires de formation des enseignants où, très souvent, sont présentés tels quels les résultats de la recherche en didactique des sciences physiques.

• *Élucidation des idées des enseignants à travers la classification*

l'acceptation
par les
enseignants de
la fonctionnalité
et l'utilité de la
classification
de curriculums
comme outil de
communication
et de formation

Au cours de la discussion qui a suivi la présentation des résultats de l'analyse des travaux des enseignants, nous avons constaté que la plupart des enseignants ont semblé avoir compris l'utilité d'un tel outil dans leurs pratiques pédagogiques. La discussion a abouti à la formulation des quatre constats importants suivants de la part des enseignants.

les enseignants prennent conscience des caractéristiques de leur travail...

- Les enseignants ont pris conscience des caractéristiques, des composantes et des limites du cadre dans lequel ils travaillent. Par exemple, la plupart des enseignants qui ont exprimé la conception traditionnelle ou pseudo-innovative reconnaissent que, bien qu'ils ajoutent une unité relative aux transformations des différentes formes d'énergie dans une séquence d'unités dont le contenu conceptuel se base sur l'approche "travail-énergie", ils n'échappent pas au curriculum traditionnel. Ils reconnaissent également que pour réussir une approche du curriculum innovatif, toutes les unités devraient être planifiées selon *"un cadre conceptuel différent, un axe comme celui de la chaîne énergétique"*. Enfin, un autre enseignant ayant exprimé la conception innovatrice décrit comment, à travers la classification des curriculums, ce qui était jusqu'à présent implicite se transforme en explicite : *"Maintenant je peux voir que mon travail est basé sur des regroupements de phénomènes et de concepts implicites."*

... et du pouvoir séparateur de l'outil qui conduit à un élargissement de leurs choix

- Les enseignants se sont rendus compte du pouvoir séparateur de l'outil de classification qui conduit à l'élargissement de leurs choix. Par exemple, dans le cadre du débat relatif au statut d'une expérience traditionnelle qui est en rapport avec la conservation de l'énergie mécanique (roue de Maxwell) et cela dans un programme d'enseignement de l'énergie, un certain nombre d'enseignants reconnaissent que l'utilisation de l'expérience est différente selon le type du curriculum. C'est-à-dire qu'ils reconnaissent que dans un curriculum traditionnel l'expérience sert une nécessité logistique (confirmation du rapport $E_p + E_c = \text{const.}$), ce qu'un grand nombre d'entre eux ont appliqué jusqu'à présent. Ils reconnaissent également que dans le curriculum innovatif cette expérience pourrait faire partie du cadre conceptuel de la chaîne énergétique. *"Ceci aurait comme conséquence l'étude du problème des conditions sous lesquelles la roue de Maxwell s'arrête (transfert de l'énergie dans l'environnement), ce qui présuppose de changer les questions que l'on pose aux élèves au cours de l'expérimentation ou au cours de leur évaluation."* note un enseignant qui a exprimé la conception traditionnelle. Au cours de la discussion, les enseignants ont souvent évoqué ce problème pour d'autres expérimentations, ce qui apporte un certain nombre de preuves qui confirment que le pouvoir séparateur de la classification des curriculums favorise l'élargissement et/ou le changement du champ questionnemental (Lemeignan & Weil-Barais, 1993 ; Weil-Barais 1994).

- La classification des curriculums a donné aux enseignants la possibilité de formaliser et expliquer leurs pratiques pédagogiques, et par conséquent de pouvoir justifier et soutenir avec des arguments ces pratiques. Par exemple, un enseignant qui a exprimé la conception innovatrice soutient que : *"Certaines choses se font par instinct. Depuis que j'ai suivi le séminaire, je cherche à trouver les regroupements et à systématiser mon travail. J'introduis, par exemple, toujours le*

ils peuvent plus facilement formaliser et expliquer leurs pratiques...

... ainsi que planifier et organiser leur enseignement

condensateur dans une série d'expérimentations et non pas dans une seule où l'on mesure simplement l'énergie qui s'emmagasine en lui, comme le font la plupart de mes collègues. Je fais tout d'abord en sorte que la pile charge le condensateur qui emmagasine l'énergie "invisible". Puis je connecte une lampe qui montre que l'énergie se transmet à elle en ayant auparavant été emmagasinée dans le condensateur. Maintenant je vois que cette activité peut être véhiculée par le modèle de la chaîne énergétique dans le cadre du curriculum innovatif." Ce point de vue est soutenu par d'autres enseignants qui utilisent des exemples similaires.

- Le modèle de classification des curriculums peut faciliter la planification et la réorganisation de leur enseignement. Par exemple, certains enseignants ont formulé l'idée que *"la distinction entre les trois types de programmes représente un véhicule de passage de la théorie à son application car elle facilite la planification en question"*. Quand a été posée à un enseignant la question de savoir ce qui changerait dans son travail après le suivi du séminaire, il a répondu qu'il limiterait le nombre d'expériences qu'il avait prévues, afin d'insister sur le contenu conceptuel de celles-ci. Un autre enseignant prétend enfin que le passage d'un curriculum traditionnel à un curriculum innovatif et du curriculum innovatif au curriculum constructiviste est nécessaire car *"il fournit à l'enseignant des informations plus sûres quant à ses pratiques éducatives même si elles sont moins nombreuses"*, c'est-à-dire qu'il attribue une structure hiérarchique à la classification des curriculums en utilisant comme critère la qualité des informations fournies par les trois types de curriculum. La reconnaissance de cette nécessité conduit cet enseignant à la réorganisation du contenu conceptuel et du champ d'application du concept d'énergie qu'il a proposés dans son travail et à l'abandon d'une série d'activités expérimentales.

Pour finir, nous remarquons qu'il n'existe pas de références précises quant à l'utilisation du curriculum constructiviste car il ne représente pas de champ pour les pratiques pédagogiques des enseignants. Même ceux qui expriment une conception pseudo-constructiviste ne peuvent utiliser la classification des curriculums pour réorganiser leurs propositions. Ceci est sans doute dû au fait que le curriculum constructiviste ne peut être défini en tant qu'élément de l'expérience et des intérêts des enseignants puisqu'il représente encore un objet/produit de recherche. Les difficultés relatives à la formation des enseignants concernant le constructivisme ont été souvent soulignées (Louden & Wallace, 1994).

4. DISCUSSION

Le cadre constitué par la classification proposée semble pouvoir offrir certaines possibilités à la tentative de réduire les distances entre la recherche en didactique des sciences physiques et les pratiques pédagogiques dans l'enseignement des sciences physiques. Même en tenant compte du nombre limité d'enseignants de l'échantillon utilisé, si on approche cette classification à travers ces deux points de vue, nous avons la possibilité de mettre en valeur certains éléments qui constituent des champs d'intérêts communs et qui permettent la création d'un cadre de communication, puisqu'ils favorisent la lecture du réel à travers l'élaboration et la transformation d'*"un contexte bien particulier de dialogue, appelé système commun de significations"* (Amigues et Caillot, 1990).

Comme nous l'avons vu dans l'exemple utilisé, la classification permet aux chercheurs l'étude de l'activité pédagogique en utilisant des critères qui proviennent du cadre théorique de la didactique des sciences physiques. En effet, dans l'étude en question, tout en essayant d'analyser les choix des participants quant à l'organisation et la programmation de l'enseignement de l'énergie, nous avons abordé leurs propositions en nous fondant sur des notions comme celles de conceptions, transposition didactique, constructivisme, etc. Ces notions familières aux didacticiens représentent des outils d'importance pratique pour les chercheurs, mais probablement des mots sans contenu particulier, et certainement sans valeur d'utilisation pour les enseignants, et cela même s'il s'agit d'enseignants ayant suivi des séminaires de didactique des sciences physiques basés uniquement sur la présentation des résultats de recherches. Puisque ces notions que nous avons tenté de leur transmettre en tant qu'outils d'une autre réalité – le monde de la recherche – se placent dans un cadre, visant l'étude des pratiques pédagogiques; elles peuvent alors se transformer en outil de communication autorisant l'approche de problèmes qui surgissent du cadre de leur réalité.

Si, de plus, toute tentative d'établir de tels outils de communication a comme perspective non seulement la définition, la description et la catégorisation des pratiques pédagogiques, mais aussi la formation des termes de réorganisation, de différenciation et leur transformation, elle crée ainsi chez les enseignants les conditions d'appropriation des possibilités d'une telle tentative. C'est-à-dire qu'elle permet la restructuration de l'ensemble du système de significations que les enseignants adoptent pour l'étude de leurs pratiques pédagogiques, puisque le statique peut à présent paraître dynamique, le descriptif peut paraître interprétatif et le "sans valeur pratique" devient immédiatement utilisable. C'est pour cela précisément que la classification que nous avons présentée et utilisée dans cet article permet l'approche sys-

orienter la
recherche vers
l'établissement
des systèmes
de notions
communs aux
didacticiens et
aux enseignants
pour faciliter leur
communication
et améliorer leur
vision théorique
et pratique

tématique de continuités et discontinuités dans les divers types de curriculum, tandis qu'elle formule des conditions pour la comparaison des divers choix et pratiques pédagogiques.

Évidemment, la classification en question a une portée limitée, compte tenu du fait qu'elle a été constituée uniquement en fonction de l'étude des programmes d'enseignement de l'énergie. De ce point de vue, la tentative de recherche des trois formes de curriculum (traditionnel, innovatif et constructiviste) présentera un intérêt particulier, dans d'autres champs de sciences physiques également. Car, si cette classification demeure fructueuse aussi dans d'autres parties de curriculum, nous aurons des indications précises quant à sa valeur heuristique. Une autre orientation importante vers laquelle notre travail doit se diriger est celle de l'approfondissement des caractéristiques fonctionnelles de la classification, constatées par les enseignants eux-mêmes, car cela permettra l'étude approfondie des conceptions des enseignants et leurs modifications. D'un autre côté, la tentative d'implication dans l'utilisation de ce modèle non seulement d'enseignants mais aussi d'autres acteurs du processus éducatif, serait significative (comme par exemple les concepteurs de curriculums, les auteurs de manuels scolaires), acteurs qui pourraient peut-être étudier et mettre en valeur certains côtés de cette classification.

transposer les
résultats de cette
recherche à
d'autres champs
conceptuels

Dimitris KOLIOPOULOS
Konstantinos RAVANIS
Département des Sciences de l'éducation
Université de Patras, Grèce

BIBLIOGRAPHIE

- AGABRA, J. et al. (1979). *Sciences Physiques*, Collection *Libres Parcours*. Paris : Hachette.
- AMIGUES, R. & CAILLOT, M. (1990). "Les représentations graphiques dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité". *European Journal of Psychology of Education*, V, 4, 477-488.
- ARONS, A.B. (1990). *A guide to introductory Physics learning*. J. Wiley & Sons.
- BALTAS, A. (1990). "Once again on the meaning of physical concepts". In Nikola-kopoulos P. (Eds.), *Greek studies in the Philosophy and History of Science* (pp. 293-313). Kluwer Academic Publishers.
- DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSHWORTH, P. & WOOD-ROBINSON, V. (1994). *Making sense of secondary science. Research into children's ideas*. London : Routledge.

- DUIT, R. & HAEUSSLER, P. (1994). "Learning and Teaching Energy". In Fensham, P., Gunstone, R. & White, R. (Eds.), *The Content of Science, A Constructivist Approach to its teaching and learning*. London : The Falmer Press.
- HABER-SCHAIM, U. (1983). *Energy*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. Jersey.
- HALBWACHS, F. (1973). "L'Histoire de l'explication en Physique". In J., Piaget et al., *L'Explication dans les Sciences* (pp. 72-102). Paris : Flammarion.
- JOHNSON, K. & A. (1991). *Physics for you*. London : Stanley Thornes Publishers Ltd.
- KOLIOPOULOS, D. (1997). *Approches épistémologiques et didactiques du processus de construction de curriculum : le cas de la transposition didactique et de l'apprentissage du concept d'énergie*. Thèse. Patras : Université de Patras.
- KOLIOPOULOS, D. & TIBERGHIE, A. (1986). "Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèges". *Aster*, 2, 167-178.
- KOLIOPOULOS, D. & RAVANIS, K. (à paraître). "Élaboration et évaluation du contenu conceptuel d'un curriculum constructiviste concernant l'approche énergétique des phénomènes mécaniques".
- LEHRMAN, R.L. (1973). "Energy is not the ability to do work". *The Physics Teacher*, 11, 1, 15-18.
- LEMEIGNAN, G. & WEIL-BARAIS, A. (1990). *L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie*. Rapport interne. LIRESPT, Université Paris 7.
- LEMEIGNAN, G. & WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en Physique*. Paris : Hachette Éducation.
- LOUDEN, W. & WALLACE, J. (1994). "Knowing and teaching science : the constructivist paradox". *International Journal of Science Education*, 16, 6, 649-657.
- MARTINAND, J.-L. (1994). "La Didactique des Sciences et de la Technologie et la formation des enseignants". *Aster*, 19, 61-75.
- PSILLOS, D. (1995). "Adapting science teaching to student's reasoning". In D., Psillos (Ed.), *Proceedings of the 2nd PhD Summerschool "European Research in Science Education"* (pp. 57-71). Thessalonique : Art of Text.
- SHADMI, Y et al. (1978). *Investigating the concept of energy in the 9th grade*. The Hebrew University of Jerusalem and the Curriculum Development Center (Education Ministry of Israel).
- SOLOMON, J. (1992). *Getting to know about energy - in school and society*. London : The Falmer press.

TIBERGHIEU, A. (1989). "Learning and teaching at middle school level of concepts and phenomena in physics : the case of temperature". In H., Mandl et al. (Eds.), *Learning and Instruction : European research in an International context* (pp. 631-648). Oxford : Pergamon Press.

TIBERGHIEU, A. & MEGALAKAKI, O. (1995). "Characterisation of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy". *European Journal of Psychology of Education*, X, 4, 369-383.

WEIL-BARAIS, A. (1994). "L'initiation scientifique et technique auprès de jeunes enfants : points de vue épistémologique et psychologique". In A., Giordan, J.-L., Martinand & D., Raichvarg (Eds.) *Actes XVI^{es} JIES*, Chamonix (pp. 99-106).

ZENAKOS, A. et al. (1994). *Physique*. Athènes (en grec).