

# Enseigner le concept d'énergie en physique et éduquer à l'énergie : *rupture ou continuité* ?

Manuel Bächtold , Valérie Munier

LIRDEF (EA 3749), Universités Montpellier 2 et Montpellier 3  
manuel.bachtold@fde.univ-montp2.fr  
valerie.munier@fde.univ-montp2.fr

## Résumé

*D'après le nouveau programme de Première S, le concept d'énergie doit être abordé à la fois avec une approche scientifique et avec une approche sociétale. Or ces deux approches se distinguent non seulement par leur conception de l'énergie mais également par les enjeux qui leur sont associés dans le cadre de l'enseignement. Cette communication porte sur la façon dont les enseignants envisagent l'articulation entre l'enseignement de l'énergie en physique et l'éducation à l'énergie. Les résultats de nos analyses, qui s'appuient sur une étude de cas menée dans une classe de Première S, pointent les difficultés que peuvent avoir les enseignants et les élèves à maîtriser les aspects scientifiques et épistémologiques du concept, et en particulier à saisir sa fonction unificatrice. Ils semblent également indiquer que les points de rupture entre les deux approches de l'énergie ne sont pas identifiés clairement par les enseignants, alors qu'ils sont source de confusions pour les élèves.*

## Mots clés

Énergie – Enseignement – Éducation à – Épistémologie – Première S

## Abstract

*According to the new program of Première S (at the secondary school in France), the concept of energy has to be studied both with a scientific approach and a societal approach. Yet, these two approaches differ not only in their conception of energy, but also in the issues associated to them in the frame of teaching. This talk deals with the way teachers consider the connection between the teaching of energy in physics and the education to its societal aspects. The results of our analysis, which lie on a case study carried out in a class of Première S, points out the difficulties teachers and pupils may have to master the scientific and epistemological features of the concept, and especially to grasp its unifying function. They seem also to indicate that the discontinuities between both approaches of energy are not clearly identified by teachers, although these are source of confusion for pupils.*

## Key words

Energy – Teaching – Education to energy – Secondary school

## Introduction : deux approches de l'énergie

La grandeur énergie a fait son entrée dans le domaine de la physique au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle lors de l'établissement de sa propriété de conservation (Elkana, 1974, Balibar, 2010). Elle était alors définie, suivant Thomson et Rankine, comme la capacité d'un système à produire un travail (voir Roche, 2003). Cette définition est aujourd'hui controversée, critiquée par certains (Sexl, 1981, Duit, 1981, Trumper, 1991) et défendue par d'autres (Warren, 1991, Hobson, 2004). En revanche, cette grandeur présente plusieurs caractéristiques reconnues de manière consensuelle : l'énergie est une grandeur qui n'a pas de sens indépendamment d'un système ; réciproquement, tout système possède de l'énergie (sa valeur étant fonction de l'état du système) ; l'énergie peut prendre plusieurs formes (cinétique, thermique, électrique...) ; elle peut se convertir d'une forme en une autre ; elle peut être transférée d'un système à un autre (non pas à la manière d'un contenu, mais bien à la manière d'une grandeur, comme la quantité de mouvement par exemple) ; elle peut être dissipée (c'est-à-dire dispersée dans l'environnement) ; enfin, elle est toujours conservée pour un système isolé (lequel peut être composé de sous-systèmes qui échangent de l'énergie). Cette dernière caractéristique, la conservation de l'énergie, a été érigée en principe de la physique, ce qui se justifie par la fonction essentielle qu'elle remplit, à savoir celle d'établir des ponts entre les phénomènes multiples et variés que la physique étudie (phénomènes mécaniques, thermiques, électriques, lumineux, nucléaires...). Outre cette fonction unificatrice, le principe de conservation de l'énergie assure une fonction prédictive et heuristique (Bächtold & Guedj, 2014).

En raison de leur rôle fondamental en physique, la grandeur énergie et le principe de sa conservation sont incontournables dans l'enseignement de la physique. De prime abord, l'idée que l'énergie se conserve peut apparaître simple et accessible pour les élèves. Cependant, les recherches en didactique de la physique ont pointé

les grandes difficultés des élèves à s'approprier ce principe de conservation : ils sont peu nombreux, au terme de l'enseignement de la physique dans le secondaire, à être capables de le mobiliser pour résoudre un problème et à savoir l'appliquer correctement (Driver & Warrington, 1985, Solomon, 1985, Neumann et al., 2013). Et pour cause, pour maîtriser ce principe, les élèves doivent être capables de mettre en lien des phénomènes très différents (ce qui requiert une grande capacité d'abstraction), de distinguer le système étudié et son environnement, de comprendre le phénomène de dissipation et de maîtriser des outils mathématiques (ce qui requiert une bonne capacité de formalisation). La reconnaissance de ces difficultés soulève la question de la stratégie didactique spécifique à adopter (pour une vue d'ensemble, voir Millar, 2005, Doménech et al., 2009, Bächtold & Guedj, 2014) et celle de la progression qu'il convient de proposer aux élèves pour rendre possible cet apprentissage (Lee & Liu, 2010, Nordine et al., 2011, Neumann et al., 2013).

En parallèle, l'énergie se trouve aujourd'hui au cœur des débats liés au développement durable. Elle est reconnue par les économistes comme un élément central du fonctionnement et du développement économique d'un pays et corrélativement de son développement social (Chevalier, 2004). Or, il existe une grande inégalité entre les pays dans leur accès aux sources d'énergie et, par suite, dans leur capacité à se développer. En outre, la production et la consommation d'énergie sont sources de pollutions et peuvent avoir des effets néfastes sur la santé et l'environnement. Nos sociétés ont donc deux défis à relever : réduire l'inégalité entre les pays sur le plan énergétique et permettre un développement économique qui garantisse la préservation de l'environnement. Les solutions ne sont toutefois pas simples à trouver. Les sources d'énergie les plus exploitées à l'heure actuelle, les sources fossiles, sont peu coûteuses, mais leurs stocks sont limités et elles génèrent d'importantes pollutions. Les sources d'énergie renouvelables, quant à elles, ne posent pas de problème en termes de stock et sont moins polluantes, elles sont toutefois encore peu développées, restent très coûteuses et doivent être panachées avec d'autres sources d'énergie en raison de leur disponibilité par intermittence (Ngô, 2008). Face à cette situation complexe, plusieurs pistes sont envisageables : augmenter l'efficacité énergétique, développer les technologies exploitant les sources d'énergie renouvelables, adopter au niveau individuel un comportement citoyen et trouver le bouquet énergétique qui convient localement (Ngô, 2008).

En accord avec les préoccupations européennes (Commission Européenne, 2006, ARENE, 2006, Conseil européen, 2010), le Ministère de l'Education Nationale en France présente l'« éducation au développement durable » (EDD) comme un enjeu majeur qui concerne l'ensemble des disciplines et des niveaux de la scolarité (MEN, 2004, 2007, 2011). L'éducation à l'énergie est mentionnée par certains de ces textes comme un des éléments de l'EDD. L'objectif est de développer la pensée critique des élèves et de leur faire acquérir une culture scientifique leur permettant de participer aux débats et aux choix de société sur les questions complexes relatives au développement durable. S'il importe de transmettre des connaissances (que ce soit sur des aspects économiques, environnementaux, scientifiques ou technologiques), la spécificité de l'EDD réside dans le développement de *compétences* pour mener des raisonnements sur les questions complexes liées au développement durable et de *comportements* citoyens et responsables, au niveau individuel et collectif. Les enseignants doivent « *éduquer au choix* et non [...] *enseigner des choix* » (MEN, 2007).

Or, la conception de l'énergie qui est mobilisée dans les débats sur le développement durable et dans le cadre de l'éducation à l'énergie est en apparence rupture avec celle acceptée en physique. Lorsqu'il est question d'exploitation et de gestion d'énergie, cette dernière est souvent traitée comme s'il s'agissait d'une substance : on dit de l'énergie qu'elle peut être produite, stockée, transportée ou consommée. Du point de vue de la physique, l'énergie est une grandeur relative à un système et ne peut pas être assimilée à une substance. Elle a en outre la propriété fondamentale d'être conservée, ce qui ne semble pas compatible avec l'idée de production ou de consommation.

Certes, une continuité entre les deux conceptions de l'énergie est envisageable si l'on explique la production ou la consommation d'énergie en termes de conversion de l'énergie d'une forme en une autre. Cependant, l'approche scientifique et l'approche sociétale de l'énergie demeurent très différentes, de sorte que leur articulation dans l'enseignement n'apparaît pas évidente. En particulier les enjeux sont différents : l'enjeu de l'enseignement du concept scientifique d'énergie est que les élèves maîtrisent le principe de conservation qui lui est associé, tandis que l'enjeu de l'éducation à l'énergie est de développer la pensée critique des élèves sur des questions sociétales complexes. Notre recherche porte sur la question suivante : comment envisager l'articulation entre l'enseignement de l'énergie en physique et l'éducation à l'énergie ? En particulier, comment l'apparente contradiction entre les deux approches de l'énergie est-elle prise en charge par l'enseignement ? L'exploration de ces questions se justifie d'autant plus aujourd'hui que les nouveaux programmes du lycée mettent l'accent sur les liens sciences-société. Notre étude se focalise sur l'enseignement de physique-chimie en Première S, non seulement parce que le principe de conservation de l'énergie y est au programme pour la première fois du curriculum, mais aussi parce que le nouveau programme accorde à l'énergie une place centrale et l'aborde à la fois avec une approche scientifique et une approche sociétale (MEN, 2010).

Dans la première partie de notre communication, nous présentons les résultats de nos travaux préliminaires sur cette question (Bächtold, Munier et Lerouge, 2013) : analyse du programme de Première S, analyse d'une sélection de manuels scolaires et enquête exploratoire menée par voie de questionnaire auprès d'enseignants. Ces

travaux nous ont permis d'affiner notre questionnement et nos hypothèses. Dans la seconde partie, nous exposons les résultats d'une étude de cas menée dans une classe de Première S. Nous nous appuyons sur un entretien mené avec l'enseignant pour mettre en lumière les finalités qu'il attribue à l'enseignement de l'énergie et la manière dont il envisage l'articulation entre l'enseignement de l'énergie en physique et l'éducation à l'énergie. Un questionnaire « élèves » nous permet, en outre, de voir dans quelle mesure ceux-ci s'approprient le concept scientifique d'énergie et perçoivent sa fonction d'unification, mais aussi de quelle manière ils pensent les liens sciences-société relativement à l'énergie, après enseignement.

## ***Analyse préliminaire***

Dans une recherche antérieure (Bächtold, Munier et Lerouge, 2013), nous avons cherché à identifier la ou les articulations entre l'enseignement scientifique de l'énergie et l'éducation à l'énergie évoquées ou privilégiées par les programmes, les manuels scolaires et les enseignants. Essentiellement, nous avons cherché à voir si l'apprentissage du concept scientifique est plutôt considéré comme un pré-requis pour l'éducation aux questions socio-économiques et environnementales liées à l'énergie ou si l'étude de ces questions est perçue comme une situation d'entrée ou comme un champ de mobilisation et de réinvestissement pour l'enseignement scientifique de l'énergie.

### ***Le programme de Première S***

Le programme de Première S est divisé en 3 grandes parties : « Observer », « Comprendre : lois et modèles » et « Agir ». Ce programme donne au concept d'énergie un rôle structurant : « Au sein de tous ces phénomènes [changements d'état, réactions nucléaires et réactions chimiques] est présente cette grandeur essentielle des sciences physiques et chimiques et seulement perceptible par ses effets, l'énergie » (MEN, 2010b, p. 5). L'enseignement du concept scientifique d'énergie figure dans la partie « Comprendre » sous le titre « Formes et principe de conservation de l'énergie ». Les programmes soulignent l'omniprésence du concept ainsi que les fonctions prédictive et heuristique du principe de conservation.

Concernant les questions sociales, économiques et environnementales liées à l'énergie, elles sont abordées dans la partie « Agir » du programme. L'objectif est de montrer aux élèves que les sciences apportent des clés pour résoudre un problème majeur auquel notre société fait face actuellement, celui d'assurer deux exigences contradictoires, le développement social et économique de notre société et la préservation de l'environnement : « Défis du XXI<sup>e</sup> siècle. En quoi la science permet-elle de répondre aux défis rencontrés par l'Homme dans sa volonté de développement tout en préservant la planète » (*ibid.*, p. 12). Il semblerait donc que l'enseignement scientifique de l'énergie (ou plus largement, l'enseignement des sciences) soit un pré-requis pour l'éducation à l'énergie : les questions sociales, économiques et environnementales liées à l'énergie sont à traiter sur la base de connaissances scientifiques, lesquelles sont tacitement censées être acquises ou en voie d'acquisition. Suivant la logique de ce discours, il convient d'abord d'acquérir les notions et connaissances scientifiques avant de voir comment elles peuvent être mises en œuvre pour résoudre les problèmes sociétaux liés à l'énergie.

Les programmes suggèrent implicitement que les sciences sont porteuses de solutions à ces problèmes. Ce rôle des sciences apparaît surévalué : en effet, d'une part la résolution de ces problèmes relève également d'engagements politiques aux niveaux locaux, nationaux et internationaux, et d'autre part les solutions technoscientifiques elles-mêmes sont loin d'avoir été trouvées, étant donné que chacun des dispositifs techniques disponibles actuellement présente son lot d'inconvénients.

Les programmes mentionnent dans cette partie agir plusieurs des notions scientifiques liées à l'énergie introduites dans la partie « Comprendre ». Ainsi, la partie « Agir » offre une occasion de réinvestir des notions précédemment travaillées en les mobilisant dans un contexte nouveau. Notons cependant que le programme de Première S accorde aux enseignants la « liberté pédagogique » de choisir l'ordre qui leur semble le plus adapté à leurs élèves : si la présentation des contenus du programme place la partie « Agir » (sociétale et environnementale) après la partie à proprement parler scientifique, le préambule insiste sur cette liberté qui « affranchit d'une lecture séquentielle du programme » (*ibid.*, p. 2).

### ***Analyse de manuels scolaires***

Pour voir comment les manuels scolaires prennent en charge l'articulation entre l'enseignement de l'énergie en physique et l'éducation à l'énergie, nous avons analysé cinq manuels publiés en 2011 (conformes au programme de 2010), lesquels nous renseignent sur des mises en œuvre possibles en classe. L'ensemble de ces manuels place la partie sociétale liée à l'énergie après la partie scientifique. Le choix de cet ordre s'accorde avec le discours général du programme qui présente les sciences comme apportant des solutions aux problèmes socio-économiques et environnementaux liés à l'énergie.

Dans tous les manuels, les notions scientifiques concernant l'énergie (conversions, formes...) sont ensuite réinvesties dans la partie « Agir ». Cependant, les manuels font une exploitation très limitée, voire inexistante, du principe de conservation de l'énergie. Seul un manuel fait un renvoi au chapitre portant sur le principe de conservation de l'énergie et le présente comme se trouvant au cœur de l'étude des chaînes énergétiques.

L'ensemble des manuels analysés font usage des expressions « production d'énergie électrique » ou « production d'énergie » sans expliciter qu'il s'agit d'une conversion d'une forme d'énergie en une autre.

### ***Questionnaire enseignant***

Un questionnaire succinct contenant des questions fermées et des champs de commentaires éventuels a été élaboré et diffusé à des enseignants de physique de Première S par voie électronique. Il s'agissait d'avoir une première idée de la façon dont les enseignants s'emparent des questions socio-économiques et environnementales liées à l'énergie et de voir comment ils pensent leurs liens avec l'enseignement des savoirs disciplinaires. Les questions et résultats sont présentés en détail dans une autre communication (Bächtold, Munier et Lerouge, 2013), nous en rappelons ici les résultats principaux en lien avec notre problématique. Les pourcentages qui suivent ont été réalisés sur un effectif de 93 enseignants.

Plus de la moitié des enseignants ayant répondu au questionnaire déclarent consacrer une part importante ou très importante aux questions de société et d'environnement dans leur enseignement (59 %). Ils prennent donc à leur charge, au moins dans une certaine mesure, les objectifs des programmes en termes d'éducation à l'énergie et ils ne se limitent pas à une approche strictement disciplinaire de ce concept. Cependant, l'introduction des questions sociales dans l'enseignement de la physique n'est pas systématique, certains enseignants ne se sentant pas armés pour aborder ces questions ou déclarant ne pas avoir suffisamment de temps. De plus, cette approche ne fait pas l'unanimité.

Concernant la façon dont ils envisagent l'articulation entre l'enseignement scientifique de l'énergie et l'éducation à l'énergie, plus des deux tiers des enseignants (68 %) considèrent que pour traiter les questions de société et d'environnement les élèves ont besoin de la maîtrise scientifique du concept d'énergie. Une large majorité considère qu'ensuite, après avoir abordé le concept d'énergie, l'étude des questions de société et d'environnement est une bonne occasion de réinvestir les notions scientifiques concernant l'énergie (80 %).

Les deux tiers des enseignants sont conscients du décalage qui existe entre le sens donné au terme d'énergie en physique et dans le langage courant. Les enseignants disposaient d'un champ de commentaires permettant d'explicitier leur réponse, ce qui a été le cas pour 41 sur 93. Ces commentaires laissent supposer que les enseignants ne sont pas conscients du fait que cela pourrait générer des difficultés chez les élèves. En particulier, aucun enseignant ne mentionne le point de rupture apparente signalé plus haut entre les deux visions de l'énergie : l'opposition entre le principe de conservation et l'aspect production et consommation.

Ces premiers résultats laissent penser que si les enseignants se sont bien approprié les prescriptions de l'institution concernant l'éducation à l'énergie, s'ils prennent en compte les questions sociales et environnementales dans leurs enseignements, ils ne semblent pas conscients des difficultés que peuvent générer les articulations entre les différentes facettes de l'énergie. Cependant ces questionnaires ne nous permettent pas d'affirmer cela étant donné que les enseignants n'étaient pas questionnés de façon directe sur cette question et que le mode de questionnement ne s'y prêtait pas<sup>1</sup>. Pour développer notre étude des objectifs assignés à l'enseignement de l'énergie ainsi que les liens envisagés entre les perspectives scientifique et sociétale, nous avons mené des analyses plus fines auprès d'un panel restreint d'enseignants.

## ***Etude de cas dans une classe de Première S***

### ***Méthodologie***

L'étude présentée ici s'inscrit dans un projet plus large visant à caractériser les pratiques des enseignants sur l'énergie dans le secondaire. Plusieurs enseignants ont été suivis et interviewés en Première et en Troisième. Les analyses sont encore en cours et nous présentons ici une première étude de cas menée avec un enseignant que nous appellerons Arnaud dans la suite du texte. Il s'agit d'un enseignant expérimenté, dans un lycée général avec un public hétérogène du point de vue socioculturel ; le niveau de la classe est décrit par l'équipe enseignante comme moyen. Nous avons porté notre attention sur le chapitre dédié à l'énergie mécanique qui doit aboutir à la formulation du principe de conservation de l'énergie à partir de la conservation ou non de l'énergie mécanique (cas avec ou sans frottements). Trois séances ont été consacrées à ce chapitre, elles ont été filmées et un entretien d'une heure environ a été réalisé avec l'enseignant à l'issue des séances.

---

<sup>1</sup> Rappelons qu'il s'agissait pour nous d'une première étude prospective destinée à guider la suite de nos investigations.

L'entretien était de type semi-directif. Il comportait des questions orientées par notre problématique et nos hypothèses, lesquelles s'appuient à la fois sur les éléments d'épistémologie et de didactique présentées dans l'introduction et sur les résultats des analyses préliminaires. Des questions supplémentaires d'explicitation ont été posées lorsque c'était nécessaire. L'entretien a été retranscrit et nous avons effectué une analyse de contenu. Il portait sur la façon dont les aspects scientifiques et épistémologiques du concept d'énergie sont abordés en classe (définition, caractéristiques et fonctions de ce concept), en particulier sur la mise en relation des différents chapitres concernant l'énergie, et sur la façon dont la partie scientifique est articulée à la partie sociétale « Agir ».

Concernant les élèves, ils ont été interrogés par voie de questionnaire après le dernier chapitre sur l'énergie, afin de voir comment ils s'approprient ces aspects scientifiques et épistémologiques du concept et pensent les liens sciences-société sur ces questions. Le questionnaire comprenait 14 questions ouvertes. Les élèves ont disposé du temps nécessaire pour y répondre (environ 45 minutes).

### ***Entretien avec l'enseignant***

Concernant l'introduction du concept d'énergie en classe du point de vue scientifique et épistémologique, Arnaud estime qu'il n'est pas nécessaire de donner une définition de l'énergie aux élèves. Lorsque nous évoquons la définition de l'énergie en termes de capacité d'un système à produire des effets, il considère que *« c'est trop conceptuel pour pouvoir leur dire comme ça »*. Au lieu d'une définition générale valable pour tous les chapitres dans lesquels il est question d'énergie, il choisit de présenter les caractéristiques de *chaque énergie*, implicitement de chaque forme d'énergie particulière (ex : énergie cinétique, énergie thermique...), qui intervient dans chacun de ces chapitres. Arnaud perçoit les différentes formes d'énergie comme des grandeurs autonomes et explique que c'est ainsi qu'il les présente aux élèves. Il n'a pas, semble-t-il, une réelle conscience de la fonction d'unification du concept : *« je l'ai vu [l'énergie] comme différentes choses, mais qui n'étaient pas... entre guillemets... avec un grand lien entre chacune »*. Lorsqu'au cours de l'entretien nous émettons l'idée que cette approche « morcelée » de l'énergie lui est suggérée par le programme et les manuels qui présentent les chapitres sur l'énergie mécanique, l'énergie nucléaire... comme étant autonomes, Arnaud acquiesce et explicite ses choix : *« C'est exactement ça. C'est exactement le principe...heu... que j'ai eu pour faire le cours... c'est-à-dire de faire des chapitres avec des liens... heu... comme je les trouve évidemment, mais le fait d'être assez... heu... assez différents les uns des autres m'a fait étudier l'énergie chimique, l'énergie mécanique, l'énergie nucléaire dans différentes parties du programme et le lien entre tous... heu... est plus difficile à mettre en œuvre »*. Il précise que c'est à l'occasion de l'étude de conversions d'énergie (ex : énergie électrique en énergie thermique) qu'il établit en classe des liens entre différentes *sortes d'énergie*. Cette dernière expression qu'il préfère tacitement à celle de « formes d'énergie » traduit également, selon nous, sa conception morcelée de l'énergie. Remarquons en outre que, dans le cadre de l'entretien, mais aussi en classe, Arnaud emploie l'expression *transfert d'énergie* pour parler de conversion (ou transformation) d'énergie.

Concernant la façon dont il traite la partie « Agir », c'est-à-dire la partie sociétale liée à l'énergie, et dont il la relie à la partie scientifique portant sur cette grandeur, Arnaud explique que, pour des questions de temps, il n'aborde pas les problèmes de production, de déchets, d'environnement, etc. avec sa classe de Première S. Invoquant la préparation des élèves pour la Terminale S, il présente cette partie sociétale comme n'étant pas prioritaire. Il explique avoir abordé par le passé les questions sociétales liées à l'énergie avec des élèves de Première S, et ce par le biais d'un débat avec la classe entière. Cette expérience n'a pas été concluante pour lui, d'une part parce qu'il considère qu'elle débouche pour les élèves sur une vision simpliste, et d'autre part parce que les questions sociétales ne constituent pas pour lui une entrée évidente pour la partie scientifique : *« C'est assez décevant pour enchaîner, pour trouver le lien pour arriver aux notions que j'ai développé dans ces quatre séances là, ça a été assez dur, parce qu'ils ont une vision assez réductrice... C'est pour tout le monde... il y a quelqu'un qui va trouver quelque chose, c'est la facilité, ou alors... heu... ne vous inquiétez monsieur, on va mettre des éoliennes et des panneaux solaires sur toutes les maisons et sur tous les champs et on aura résolu le problème »*.

Par ailleurs, lorsque nous l'interrogeons sur l'intérêt de mobiliser les connaissances scientifiques liées à l'énergie pour décrire le fonctionnement de dispositifs techniques permettant d'exploiter l'énergie, il considère que c'est une bonne occasion d'expliquer ce qui se fait à l'heure actuelle ou ce qui se fera plus tard, mais il a une vision relativement pessimiste sur les solutions que les sciences peuvent apporter aux problèmes énergétiques auxquels notre société fait face : *« On leur propose pas de solution avec la science directement. [...] Ça fait euh... quarante ans...un peu plus de quarante ans... qu'on entend parler de ces problèmes énergétiques et quarante ans qu'on tourne en rond en disant... il y a pas... à l'heure actuelle, on a hélas pas de solution »*. On constate à travers cet extrait qu'Arnaud ne partage pas l'optimisme affiché par le programme de Première S.

Concernant la rupture apparente entre l'approche scientifique de l'énergie et l'approche mobilisée dans le cadre de l'éducation à l'énergie, Arnaud semble ne pas en être conscient et ne comprend pas même le sens de cette question. Malgré une reformulation plus explicite de la question, en précisant que les termes production et

consommation peuvent suggérer aux élèves que l'énergie peut être créée ou disparaître, il ne semble pas envisager qu'une telle interprétation erronée puisse se développer chez les élèves : « *Produire de l'énergie électrique, bon... des mots peut-être... mais heu... ça s'enseigne pas comme ça... on produit pas de l'énergie. C'est pas comme ça, je sais pas* », et il le précise explicitement : « *pour moi non, il n'y a pas de problème* ».

### **Questionnaire « élèves »**

Le questionnaire complet contient 14 questions ouvertes. Nous ne traitons ici que certaines de ces questions, en lien avec le questionnement de recherche développé dans cette communication.

Nous demandons dans un premier temps aux élèves une définition de l'énergie (Q1) et les principales caractéristiques de l'énergie (Q2). Il s'agit pour nous de voir si les élèves donnent une définition de l'énergie limitée à un domaine de la physique ou une définition générale, et par ce biais s'ils sont conscients du caractère unificateur de ce concept. Nous cherchons aussi à savoir, à travers la question Q2, si les élèves se sont approprié le principe de conservation de l'énergie qui est, comme nous l'avons vu, un point central du programme.

Deux questions visent à savoir si les élèves considèrent le principe de conservation comme universel. En particulier nous cherchons à voir s'ils différencient l'énergie (tacitement, sous toutes les formes possibles) d'un système et de son environnement, laquelle se conserve, de l'énergie mécanique d'un système, laquelle ne se conserve qu'en l'absence de frottements : « Un palet glisse sur un plan incliné. Il y a des frottements. L'énergie mécanique du palet est-elle conservée ? Le principe de conservation de l'énergie est-il valide dans cette situation ? » (Q10). Pour mieux cerner le degré de compréhension des élèves sur ce point, nous leur demandons en outre de définir le terme de dissipation en physique (Q11).

Nous cherchons également à savoir si les élèves sont conscients de l'apparente incompatibilité entre les termes employés dans le cadre des questions sociétales liées à l'énergie et le concept scientifique d'énergie (« Parler de "production" ou de "consommation" d'énergie, est-ce compatible avec le principe de conservation de l'énergie ? Peut-on justifier l'usage de ces expressions ? ») et s'ils sont capables d'expliquer comment concilier les deux approches (Q13).

Enfin, à travers la dernière question (« Le concept d'énergie est-il important dans le programme de physique de Première S ? Si oui, expliquez brièvement en quoi », Q14), nous cherchons à savoir, d'une autre manière, si les élèves ont identifié le caractère unificateur du concept d'énergie et s'ils ont perçu son importance pour les questions sociétales.

### *Définitions de l'énergie*

On constate que les définitions de l'énergie données par les élèves relèvent majoritairement d'un seul domaine de la physique. Il s'agit de la mécanique pour 12 élèves sur 32, et on voit apparaître plusieurs conceptions erronées de l'énergie pointées par la littérature (voir par exemple Driver et al., 1994), qui correspondent dans certains cas au concept quotidien d'énergie (confusion avec une force, une puissance). Environ un tiers des élèves (11/32) donne une définition, correcte ou non, en lien avec l'énergie thermique (« *agitation ou désagitation des molécules* », « *mouvement de particules* », « *force produite par agitation d'électrons* »). Notons que quasiment aucun élève n'évoque dans sa définition de l'énergie les autres formes d'énergie (nucléaire, chimique, etc.). Un seul donne une définition suffisamment générale pour englober les différents domaines de la physique. On peut penser que cette définition réductrice du concept d'énergie chez les élèves n'est pas sans lien avec le traitement de cette question dans des chapitres indépendants.

### *Principe de conservation*

Seuls 4 élèves citent le principe de conservation comme l'une des caractéristiques principales de l'énergie. Lorsqu'il s'agit de reconnaître le caractère universel de ce principe dans une situation dans laquelle l'énergie mécanique n'est pas conservée (Q10), seuls 5 élèves déclarent explicitement que le principe de conservation est valide. Notons que cela ne signifie pas pour autant que ces derniers seraient capables de le mobiliser spontanément pour résoudre un problème. Certains élèves pointent la non conservation de l'énergie mécanique, mais ne se prononcent pas sur la conservation de l'énergie. Enfin 9 élèves sur 32, soit plus d'un quart des élèves, considèrent que dans cette situation le principe de conservation de l'énergie n'est pas valide : « *l'énergie n'est pas conservée, ou bien en très faible quantité* ».

Les définitions données pour le terme dissipation en physique confirment cette mauvaise maîtrise du principe de conservation : pour un quart des élèves dissipation signifie disparition de l'énergie : « *dissipation = ne se conserve pas* », « *c'est la disparition de l'énergie* ».

### *Fonction d'unification du concept*

Seuls 5 élèves évoquent, lorsqu'on leur demande, les caractéristiques essentielles de l'énergie, le fait que ce concept apparaît dans différents domaines de la physique, et encore de façon peu explicite : « *l'énergie produit de la chaleur, de l'électricité, de la lumière, etc.* », « *l'énergie peut se transformer, ex : énergie électrique en*

*énergie mécanique* ». Lorsqu'on leur demande en quoi ce concept a une place importante dans le programme de Première S, seuls 4 élèves pointent le caractère unificateur du concept.

#### *Rupture entre les deux approches de l'énergie*

A peine plus d'un tiers des élèves (12/32) est conscient de l'apparente contradiction entre les termes employés en physique et dans le cadre de l'éducation à l'énergie : « *il n'y a pas d'apparition ou de création, mais on l'utilise [les termes de production ou de consommation] dans la vie courante car c'est adapté pour parler de consommation* ». Parmi eux, seuls 6 sont capables d'explicitier plus ou moins clairement le « dictionnaire » permettant de passer d'une expression à une autre, c'est-à-dire de préciser que lorsqu'on parle de consommation et de production il s'agit de conversions (une production ou consommation correspond à une conversion d'une forme d'énergie en une ou plusieurs autres) : « *la production d'une énergie est la consommation d'une autre* ». Un seul élève évoque le fait qu'il y a une part de conversion et une part de dissipation : « *[...] d'après Lavoisier tout se transforme, on peut justifier ces expressions [production et consommation] puisqu'on les utilise. Plus concrètement car on parle de production ou de consommation d'une énergie on parle pas des autres. On parle de production électrique car on veut de l'électricité et consommation car c'est ce qu'on paie, on se fout de la conservation. On ne dira pas j'ai consommé de l'électricité mais elle s'est transformée pour moitié en énergie lumineuse et en énergie thermique quand on utilise une ampoule* ».

Notons que 14 élèves pointent l'importance du concept d'énergie dans notre quotidien et 7 son importance pour aborder les questions de société.

## **Discussion**

L'entretien mené avec l'enseignant révèle que les aspects scientifiques et épistémologiques de l'énergie ne sont pas bien maîtrisés, bien qu'il s'agisse d'un enseignant expérimenté. En particulier, la fonction d'unification du concept d'énergie ne semble pas être perçue par Arnaud. On peut penser que le morcellement de l'enseignement de l'énergie en plusieurs chapitres, qui est suggéré par le programme et qui se retrouve dans les manuels, contribue à une vision fragmentée de l'énergie par l'enseignant. Notons que de telles difficultés de maîtrise du concept d'énergie par les enseignants ont déjà été pointées par des recherches menées dans d'autres contextes (Trumper et al., 2000).

L'entretien pointe également le fait que l'approche sociétale ne va pas de soi pour cet enseignant. L'un des objectifs de l'éducation à l'énergie est de développer la pensée critique des élèves en leur faisant prendre conscience notamment que les questions énergétiques sont complexes et ne trouvent pas de solution simple. L'enseignant interrogé considère que les élèves ont une vision simpliste sur ces questions et il semble considérer qu'il n'est pas de son ressort de la faire évoluer.

L'entretien semble confirmer les résultats de notre questionnaire préliminaire : les enseignants n'ont pas forcément conscience des difficultés auxquelles les élèves peuvent être confrontés du fait que l'approche de l'énergie est différente dans le cadre des questions de société et dans le domaine de la physique. Comme l'ont souligné plusieurs auteurs, les élèves font face à « deux mondes différents » (Lijnse, 1990), ou pour le dire autrement, face à une « discontinuité abrupte dans le mode de pensée » (Solomon, 1983). On peut penser que ce double discours constitue une source de confusion pour les élèves et, par suite, un obstacle possible à une appropriation pleine et durable du concept scientifique d'énergie et du principe de sa conservation.

Côté élèves, le questionnaire montre qu'en fin de Première S la majorité d'entre eux a une vision très partielle du concept d'énergie. En particulier, le caractère unificateur du concept n'est perçu que par une proportion très faible des élèves. Peu d'élèves semblent s'être approprié le principe de conservation de l'énergie et considérer ce principe comme universel. Les deux tiers d'entre eux ne semblent pas conscients de l'apparente contradiction entre les termes employés dans le cadre des questions sociétales liées à l'énergie et le concept scientifique d'énergie et moins de 20% des élèves sont capables de dire comment articuler les deux approches de l'énergie.

L'étude de cas en Première S présentée dans cette communication est actuellement prolongée par des analyses des pratiques de cet enseignant et d'autres enseignants de Première S, à partir de l'analyse de vidéos de classe. Ces analyses devraient nous permettre d'affiner ou de nuancer ces premiers résultats. Cette étude de cas fournit toutefois des indications sur les difficultés possibles de l'enseignement de l'énergie en physique et de son articulation avec l'éducation à l'énergie, et nous permettent de proposer des éléments de réflexion pour repenser ou améliorer l'enseignement de l'énergie et aider les enseignants et les élèves à surmonter ces difficultés. Plusieurs pistes peuvent être envisagées. On peut penser que les points de rupture entre les deux approches scientifique et sociétale pourraient être discutés explicitement en classe, afin que les élèves en prennent conscience et soient capables de « commuter » sans confusion entre les deux types d'usage du terme énergie. En particulier, des activités pourraient être mises en œuvre en classe, afin qu'ils soient capables de traduire correctement des expressions comme celles de production ou de consommation d'énergie en termes scientifiques

(i.e. en termes de conversions d'énergie) et qu'ainsi ils puissent prendre avantage de leur formation scientifique lorsqu'ils prennent part aux discussions sociétales liées à l'énergie. Cela ne peut se faire que si les enseignants eux-mêmes sont conscients du caractère unificateur du concept et des contradictions apparentes entre les différents usages de l'énergie, ce qui n'est pas le cas pour certains enseignants comme nous l'avons pointé pour Arnaud. Une formation sur l'énergie apportant un éclairage historique et épistémologique pourrait donner aux enseignants les moyens de comprendre le rôle fédérateur que le programme assigne à ce concept et leur permettre à la fois d'être en mesure d'établir des liens entre les chapitres se rapportant à l'énergie et de faire acquérir aux élèves les savoirs nécessaires pour participer aux débats et aux choix de société sur les questions relatives à l'énergie. Notre projet de recherche dans sa globalité questionne ces différents aspects *via* l'élaboration d'ingénieries didactiques pour la classe et d'ingénieries de formation (en cours), dont il s'agira ensuite d'évaluer l'impact sur les pratiques des enseignants et sur les apprentissages des élèves.

## Références bibliographiques

- ARENE (2006). Les actes de la conférence européenne sur l'éducation à l'énergie.
- Bächtold, M. & Guedj, M. (2014). Teaching energy informed by the history and epistemology of the concept with implications for teacher education. In M. Matthews (ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 211-243). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bächtold, M., Munier, V. & Lerouge, A. (2013). Éduquer à l'énergie au collège et au lycée : quelle articulation entre savoirs disciplinaires et enjeux socio-économiques et environnementaux ? *Communication dans le cadre du colloque « Les savoirs disciplinaires dans le cadre des éducations à... »*, Journées scientifiques Montpellier-Sherbrooke, 27 juin 2013.
- Balibar, F. (2010). Énergie. In D. Lecourt (ed.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences* (pp. 403-408). Paris: Presses Universitaires de France.
- Chevalier, J.-M. (2004). *Les grandes batailles de l'énergie*. Paris : Gallimard.
- Commission Européenne (2006). *L'éducation à l'énergie : préparer les consommateurs d'énergie de demain*. Luxembourg : Communautés européennes.
- Conseil européen (2010). Conclusion du Conseil du 19 novembre 2010 sur l'éducation au développement durable. *Journal Officiel de l'Union européenne*, 2010/C 327/5.
- Doménech, J.-L., Gil-Pérez, D., Gras-Marti, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Trumper, R., Valdés, P. & Vilches, A. (2007). Teaching of energy issues: a debate proposal for a global reorientation. *Science & Education*, 16, 43-64.
- Driver, R. & Warrington, L. (1985). Student's use of the principle of energy conservation in problem situation. *Physics Education*, 5, 171-175.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science : research into children's ideas*. Londres et New York : Routledge.
- Duit, R. (1981). Understanding energy as conserved quantity. *European Journal of Science Education*, 3(3), 291-301.
- Elkana, Y. (1974). *The discovery of the conservation of energy*. London: Hutchinson Educational LTD.
- Hobson, A. (2004). Energy and work: the meaning of energy. *The Physics Teacher*, 42(5), 260.
- Lee, H.-S. & Liu, O. L. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: the knowledge integration perspective. *Science Education*, 94(4), 665-688.
- Lijnse, P. (1990). Energy between the life-world of pupils and the world of physics. *Science Education*, 74(5), 571-583.
- MEN (2004). Généralisation d'une éducation à l'environnement pour un développement durable. *Circulaire n°2004-110 du 8 juillet 2004*.
- MEN (2007). Éducation au développement durable : deuxième phase de généralisation. *Circulaire n°2007-077 du 29 mars 2007*.
- MEN (2010). Programme d'enseignement spécifique de physique-chimie en classe de première de la série scientifique. *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale*, spécial n°4 des 9 et 30 septembre 2010.
- MEN (2011). Éducation au développement durable : troisième phase de généralisation. *Circulaire n°2011-186 du 24 octobre 2011*.
- Millar, D. (2005). Teaching about energy. Department of Educational Studies, research paper 2005/11. Online at <<http://www.york.ac.uk/media/educationalstudies/documents/research/Paper11Teachingaboutenergy.pdf>>.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. & Fischer, H. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162-188.
- Ngô, C. (2008). *L'énergie : ressources, technologies et environnement*. Paris : Dunod.
- Nordine, J., Krajcik, J. & Fortus, D. (2011). Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, 95(4), 670-699.



- Roche, J. (2003). What is potential energy? *European Journal of Physics*, 24, 185-196.
- Sexl, R. (1981). Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3(3), 285-289.
- Solomon, J. (1983). Learning About Energy: How Pupils Think in Two Domains. *European Journal of Science Education*, 5, 49-59.
- Solomon, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20, 165-170.
- Trumper, R. (1991). Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept, part two. *International Journal of Science Education*, 13(1), 1-10.
- Trumper, R., Raviolo, A., Shnersch, A. M. (2000). A cross-cultural survey of conceptions of energy among elementary school teachers in training – empirical results from Israel and Argentina. *Teaching and Teacher Education*, 16, 697-714.
- Warren, J. (1991). The teaching of energy. *Physics Education*, 26(1), 8-9.