

# Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

Jacques Vince, Andrée Tiberghien

UMR ICAR, CNURS, Université Lyon 2, ENS-Lyon

[jvince@ac-lyon.fr](mailto:jvince@ac-lyon.fr)

[andree.tiberghien@univ-lyon2.fr](mailto:andree.tiberghien@univ-lyon2.fr)

## Résumé

*La communication vise à analyser l'effet d'une séquence d'enseignement sur l'énergie en classe de 1<sup>ère</sup> S qui a pour but d'aider les élèves à analyser le « défi énergétique » dans notre société. Elle présentera tout d'abord les bases théoriques, les choix de conception et les caractéristiques de la séquence d'enseignement. Les données recueillies après enseignement de cette séquence seront décrites et analysées en vue de comprendre comment les élèves établissent des liens entre les enjeux énergétiques actuels et leurs connaissances en physique. Il ressort que si les caractéristiques de l'énergie (stockage, transfert, transformation, conservation) et la représentation symbolique associée de la chaîne énergétique sont une aide, la faible connaissance de certains élèves des enjeux actuels de l'énergie est une difficulté importante qui semble sous-estimée par l'institution et qui constitue de fait un défi pour la conception de la séquence.*

## Mots clés

*Énergie – Séquence d'enseignement – Culture scientifique – Question socialement vive*

## Abstract

*This communication will present the theoretical framework of the design of a teaching sequence on energy at grade 11. This sequence aims to help students to analyse "the energy challenge in our societies". The objective is to help students to describe everyday objects from the point of view of storage, production and consumption of energy. This description is based on the energy chain that proposed a formal representation of storage, transformation and transfer of energy. Then, a second time the analysis of collected data in a classroom (11<sup>th</sup> grade) where the teaching sequence was implemented will be presented. These data were collected to better understand how students establish relationships between the energy challenge and their physics knowledge. The results show that, if the characteristics of storage, transfer, transformation and conservation of energy associated to the energy chain clearly help the students to analyse everyday situations, the low level of students' knowledge on the actual energy challenge seem to be a difficulty. This is a challenge for the design of the teaching sequence.*

## Key words

*Energy – Teaching sequence – Teaching resources design – Social issue*

## Introduction

Depuis quelques années, dans les programmes français du secondaire portant sur l'énergie, on constate une nette évolution tendant à faire explicitement référence aux débats de société sur le sujet et en particulier aux enjeux énergétiques. Cette évolution s'inscrit dans une volonté institutionnelle explicite de montrer l'importance des sciences dans la société et de « choisir des exemples d'applications de la physique et de la chimie qui répondent [aux] enjeux posés au devenir de l'Humanité et à la planète » (Ministère de l'Éducation Nationale, 2010)

Progressivement, les programmes officiels (Ministère de l'Éducation Nationale, 1992, 2000, 2010) ont fait référence à des débats ou des choix de société dans lesquels la science est impliquée de manière évidente. Si, dans les années 2000, l'objectif affiché était d'abord, et essentiellement pour les filières non scientifiques, de fournir des « clefs pour se repérer dans les enjeux de société », un nouveau pas a été franchi récemment. Non seulement de tels objectifs sont apparus dans des filières spécialisées en sciences mais les objectifs ont été précisés et diversifiés : connaissances nécessaires à la compréhension des questions scientifiques rencontrées quotidiennement, appréhension des enjeux de la science en lien avec les questions de société, compréhension des démarches ayant mené aux concepts actuels par exemple au travers de l'histoire des sciences, etc.

Cette orientation a inévitablement des conséquences sur le contenu à enseigner en physique.

Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

Dans un travail antérieur, à partir d'un courant sur la conception de ressources fondée sur la recherche (The design based research collective, 2003), nous avons développé une théorie spécifique pour la conception de séquences (Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009) que nous avons fait évoluer pour tenir compte des connaissances non disciplinaires mises en œuvre.

Cette présentation portera sur les effets d'une séquence d'enseignement sur l'énergie qui prend en compte à la fois une perspective du développement des connaissances disciplinaires et des connaissances des enjeux sociaux sur l'énergie éclairées, quand cela est possible, par les connaissances physiques.

La présentation donnera dans un premier temps un aperçu des bases théoriques de la conception de la séquence d'enseignement, les choix effectués, sa structure et certaines de ses caractéristiques. Un deuxième temps sera consacré à l'analyse des questionnaires passés avant et après la séquence dans une classe de 1<sup>ère</sup> S et des entretiens d'élèves menés après la séquence visant à mieux comprendre comment les élèves mettent en relation leurs connaissances de physique avec des questions sociales comme le « défi énergétique », expression explicitement mentionnée dans le programme actuel de la classe de 1<sup>ère</sup> S.

## ***Choix de conception et caractéristiques de la séquence d'enseignement***

### ***Bases théoriques de la conception de la séquence***

La conception de la séquence d'enseignement suivie par les élèves dont nous étudions les productions est fondée sur trois composantes théoriques associées aux pôles du triangle didactique : le savoir, l'enseignement et l'apprentissage.

Si nous utilisons le cadre théorique de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2011) pour l'enseignement, et un cadre socio-constructiviste pour l'apprentissage, nous n'explicitons ici que les choix concernant le savoir. Notre choix épistémologique prend un point de vue sur la modélisation qui conduit à distinguer la description des objets et événements du monde matériel de la théorie et du modèle associés (Sensevy et al., 2008). Notre analyse épistémologique de la physique ainsi que des savoirs en jeu dans les contextes de la vie quotidienne et de la société permet par ailleurs d'en expliciter la transposition (Vince et Tiberghien, 2012).

Le programme officiel présente les contenus à enseigner sous un chapeau qui fait explicitement référence au défi énergétique (« En quoi la science permet-elle de répondre aux défis rencontrés par l'Homme dans sa volonté de développement tout en préservant la planète ? », Ministère de l'éducation nationale, 2010) puis présente des contenus sans y faire référence. Ces contenus sont classiques pour la physique enseignée au niveau de l'enseignement secondaire : notions et compétences attendues pourraient être formulés et présentés de la même façon sans le contexte sociétal. Le processus de conception de séquence doit alors prendre en charge, en tentant de les mettre en lien, deux contextes : celui de la société d'une part, celui utilisé habituellement dans l'enseignement de l'énergie en physique d'autre part, au-delà de la seule question du défi énergétique. Ceci conduit à faire des choix quant à l'influence relative de chacun des deux contextes. Nous avons choisi de donner un poids très fort au contexte sociétal, tout en abordant tous les contenus au programme. Ceci permet en outre de permettre aux élèves de distinguer ce qui relève spécifiquement du champ scientifique dans un débat de société tel que celui qui concerne les enjeux énergétiques.

### ***Conception, objectifs, et caractéristiques de la séquence***

La séquence suivie par les élèves que nous avons interviewés pour cette étude a été co-élaborée par des enseignants associés à l'IFÉ et des chercheurs regroupés au sein du groupe dit *Sesames*. Comme pour d'autres séquences d'enseignement (Miguet et al., 2014), une carte conceptuelle des savoirs en jeu est établie (figure 1).

Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

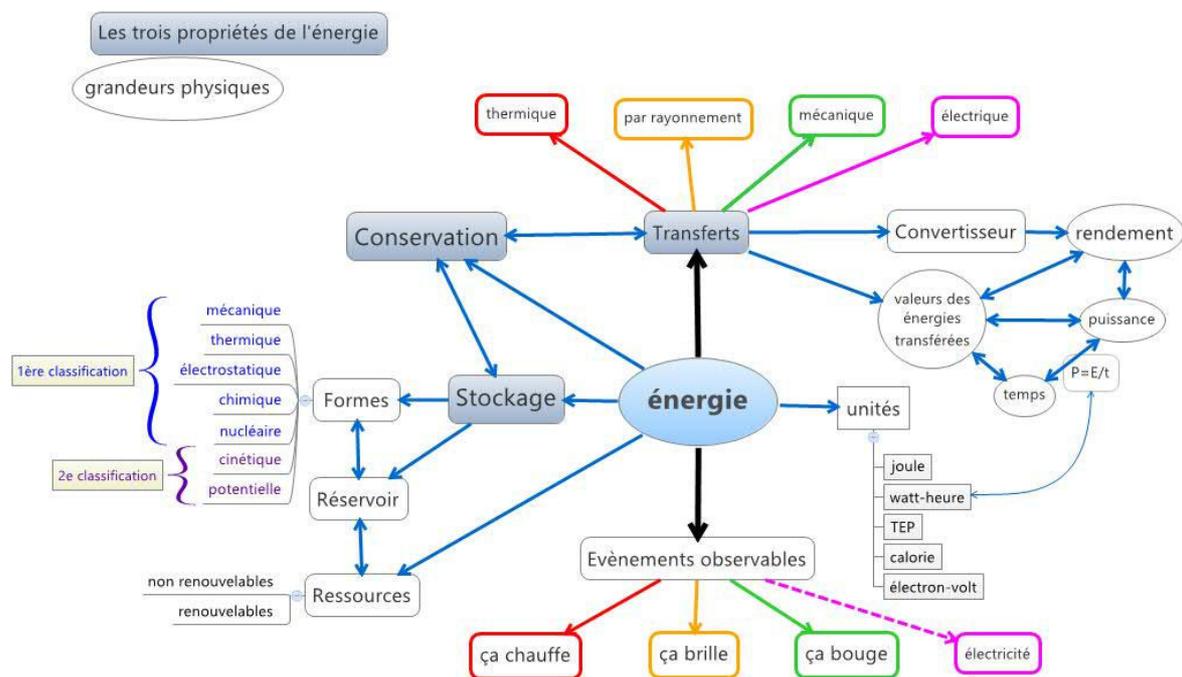


Figure 1 Carte conceptuelle des savoirs en jeu dans la séquence.

Cette carte n'est pas fournie aux élèves mais elle aide à construire un contenu scientifique cohérent tenant compte d'une part des différentes communautés (scientifiques, technologiques, citoyennes) dans lesquelles le savoir peut évoluer et d'autre part les connaissances initiales ou les difficultés des élèves (Roth et al., 2011).

Par ailleurs, à côté de l'analyse des savoirs de la discipline, leur mise en lien avec la question sociale du défi énergétique nous oblige à une analyse des savoirs nécessaires au citoyen pour comprendre les enjeux du débat sur la nature de la crise énergétique et sur les moyens d'en sortir. Nous ne détaillons pas ici cette analyse mais pouvons préciser que les savoirs en jeu recouvrent en partie les savoirs de la discipline et s'en distinguent parfois : notion d'énergie renouvelable, lien avec le développement durable, efficacité énergétique, extraction de nouvelles ressources...

Notre analyse du savoir de la physique, des savoirs présents dans le débat de société sur l'énergie et des connaissances initiales des élèves ainsi que nos hypothèses d'apprentissage conduisent à aider dans un premier temps les élèves à décrire les objets du quotidien, du point de vue du stockage, de la production et de la consommation d'énergie (termes utilisés dans la vie courante et/ou dans la société). Nous nous appuyons pour ceci sur des représentations plus formelles du stockage, des transferts et transformations de l'énergie (Lemeignan, 1980), en utilisant en particulier le symbolisme des chaînes énergétiques. Nous nous appuyons également sur une distinction essentielle en physique, entre l'énergie qui est une fonction d'état et le travail, la chaleur et le rayonnement qui caractérisent des transferts entre systèmes. Ceci vise ainsi à aider les élèves à distinguer le stockage, le transfert et la transformation (transfert et stockage induisant la possibilité de transformation et de formes diverses de stockage d'énergie et de différents modes de transfert). La notion de transfert et la prise en compte du temps conduisent ensuite à la différenciation de l'énergie et de la puissance. Cette analyse conduit à la carte conceptuelle ci-dessus (figure 1) organisée autour des trois concepts de *stockage*, de *conservation* et de *transferts*, concepts que nous considérons comme définissant l'énergie au niveau de l'enseignement secondaire. Parmi ces propriétés de l'énergie, seuls les transferts (mis en évidence par des couleurs dans la carte) donnent lieu à des événements observables. Le stockage induit également le repérage d'objets matériels jouant le rôle de réservoirs (ces réservoirs peuvent également être exceptionnellement des événements comme dans le cas du vent ou des marées).

Quant à la conservation de l'énergie, elle est du niveau du principe posé en physique, c'est lui qui définit l'énergie, il est donc inhérent à la nature même de l'énergie. De plus ce principe va à l'encontre des usages courants tels que *production* ou *consommation* d'énergie.

Plus généralement, nous considérons qu'outre les contenus disciplinaires, il faut que les élèves maîtrisent différents registres langagiers (en particulier les registres du quotidien et de la physique mais aussi partiellement ceux de la sphère économique...) et acquièrent une connaissance épistémologique. Ces acquisitions devraient permettre aux élèves de faire des transferts entre la physique, leur vie quotidienne pour des questions relatives à l'énergie et les débats de société, sans négliger les possibilités de transferts entre disciplines (Bruguière, Sivade, Cros, 2002). C'est pourquoi nous avons des objectifs supplémentaires, par exemple que les élèves soient

Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

conscients des différentes significations du mot « énergie » en physique, en technologie, dans les débats de société et dans leur vie quotidienne.

Cette analyse permet ainsi de dégager des objectifs principaux de la séquence qui doivent être en petits nombres selon nos hypothèses d'apprentissage (Roth et al. 2011). Ce travail de restriction d'objectifs se fait sous la contrainte des choix opérés au sujet du savoir. Il est donc normal, au regard des choix présentés ci-dessus, que ces objectifs fassent ici explicitement allusion aux notions soit utilisées dans le débat de société autour de l'énergie (comme par exemple la notion de *ressources renouvelables*) soit nécessaires pour comprendre en quoi il y a bien un défi énergétique et comment on peut le relever (notions de *rendement* et de *puissance* par exemple). Ces objectifs ne font pas explicitement référence au défi énergétique mais aux savoirs nécessaires pour le comprendre. Les objectifs principaux d'apprentissage formulés au moment de la conception de la séquence sont les suivants :

- Savoir que l'énergie peut prendre différentes formes et qu'elle est caractérisée par ses propriétés de conservation, stockage et transfert.
  - Quelle que soit sa forme, la grandeur énergie s'exprime en joules.
  - Distinguer puissance et énergie.
- Analyser une situation du point de vue de l'énergie en physique, en particulier à l'aide de la notion de rendement.
- Connaître et utiliser un critère pour désigner une ressource d'énergie "renouvelable", point essentiel du défi énergétique.

Ce travail d'analyse des savoirs en jeu et de formulation d'un petit nombre d'objectifs permet ensuite de hiérarchiser les compétences du programme. Nous attribuons ainsi un niveau parmi trois possibles à chaque compétence (tableau 1). Par exemple, au regard de notre analyse et de nos choix, il est cohérent d'attribuer une étoile à la compétence sur l'expression des énergies cinétiques et potentielles (qui n'exige aucun lien entre le contexte de la physique et un autre contexte, quotidien ou sociétal), et trois étoiles à l'exploitation du principe de conservation car il s'agit d'un outil essentiel pour comprendre le défi énergétique et en débattre.

Connaître et utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un solide en translation et de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide au voisinage de la Terre.	*
Réaliser et exploiter un enregistrement pour étudier l'évolution de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle et de l'énergie mécanique d'un système au cours d'un mouvement.	*
Connaître diverses formes d'énergie.	***
Exploiter le principe de conservation de l'énergie dans des situations mettant en jeu différentes formes d'énergie.	***
Recueillir et exploiter des informations pour identifier des problématiques : - d'utilisation des ressources énergétiques ; - du stockage et du transport de l'énergie.	**
Argumenter en utilisant le vocabulaire scientifique adéquat.	**
Distinguer puissance et énergie. Connaître et utiliser la relation liant puissance et énergie.	***
Connaître et comparer des ordres de grandeur de puissances.	*
Schématiser une chaîne énergétique pour interpréter les conversions d'énergie en termes de conservation, de dégradation.	***
Pratiquer une démarche expérimentale pour : - mettre en évidence l'effet Joule ; - exprimer la tension aux bornes d'un générateur et d'un récepteur en fonction de l'intensité du courant électrique.	*
Recueillir et exploiter des informations portant sur un système électrique à basse consommation.	**

**Tableau1** Hiérarchisation des compétences attendues (figurant au programme officiel) ;

\*\*\* pour une compétence structurante, indispensable pour atteindre un des objectifs principaux ; \*\* pour une compétence qui renforce une compétence structurante ou utile à sa construction ; \* pour une compétence n'ayant pas de lien direct avec une compétence structurante ou un objectif principal

### Structure de la séquence

Le tableau 2 donne la progression mise en œuvre dans la classe, avec les objectifs associés et les concepts disciplinaires et de la vie quotidienne ou sociale impliqués. Il apparaît ainsi que les connaissances de la vie quotidienne ne se recouvrent pas avec celles de la physique et ne sont pas pour autant nécessairement connues des élèves. Dans ce tableau, nous utilisons des mots identiques pour les concepts de physique et ceux de la vie quotidienne ; cependant nous faisons référence, selon la colonne où ils figurent, au sens qu'ils prennent dans chacun des contextes.

Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

	Objectifs	Titres des activités	Concepts clés disciplinaires	Concepts clés de la vie quotidienne
Introduction : l'énergie dans la vie courante et en physique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prendre conscience que le concept d'énergie est utilisé dans la vie courante et en physique mais avec des significations et des caractéristiques différentes</li> </ul>	Questionnaire d'introduction		<ul style="list-style-type: none"> <li>Énergie</li> <li>Stockage d'énergie</li> <li>Utilisation d'énergie</li> </ul>
Chapitre 1 Conservation de l'énergie et analyse de situations en mécanique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyser des situations canoniques en mécanique (chute libre) du point de vue de l'énergie.</li> <li>Savoir exploiter la conservation de l'énergie.</li> </ul>	1 - Énergie cinétique et énergie potentielle de pesanteur 2 - Évolution quantitative des différentes formes 3 - Interprétation de situations de chute 4 - Cas d'un lancer vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>Énergie potentielle</li> <li>Énergie cinétique</li> <li>Énergie mécanique</li> </ul>	
Chapitre 2 Formes d'énergie : plusieurs typologies	<ul style="list-style-type: none"> <li>Être conscient de ce qui est associé à l'énergie dans la vie quotidienne</li> <li>Classer des formes d'énergie dans la vie quotidienne et en physique</li> </ul>	1 - Formes d'énergie en physique 2 - Formes ou transferts ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formes d'énergie</li> <li>Transferts électrique, thermique, mécanique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consommation, production, stockage, transport, chaleur, lumière, électricité</li> </ul>
Chapitre 3 Transferts d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Représenter une chaîne énergétique pour rendre compte des transferts, stockages, et changements de formes d'énergie.</li> <li>Caractériser les liens entre énergie transférée et durée du transfert.</li> <li>Utiliser le concept de puissance dans le cas d'une ampoule</li> <li>Développer les idées de puissance dans la vie quotidienne</li> </ul>	1 - Représenter une situation simple par une chaîne énergétique 2 - Introduction à la puissance 3 - Transférer une quantité d'énergie plus ou moins rapidement : notion de puissance 4 - Rendement d'un convertisseur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transfert, chaîne énergétique</li> <li>Puissance</li> <li>Rendement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puissance comme une caractéristique d'objets courants</li> <li>Consommation, watt</li> </ul>

**Tableau 2** Objectifs détaillés et structure de la séquence

Les contenus d'enseignement et situations de cette progression sont censés permettre aux élèves de comprendre que le défi énergétique consiste à poursuivre les transferts d'énergie inhérents à toute activité humaine, soit en puisant dans des réservoirs à un rythme suffisamment lent pour que les ressources se renouvellent à peu près au même rythme, soit en utilisant des ressources naturelles éventuellement disponibles (énergie solaire, énergie éolienne et géothermie...). La notion de *ressource* renouvelable (qui se transforme rapidement dans le débat de société en *énergie* renouvelable) émerge alors naturellement de ce problème posé aux sociétés actuelles à l'échelle planétaire.

### Exemple de deux activités d'enseignement

Dans cette séquence il nous paraît essentiel de prendre en charge des problématiques sociétales du point de vue scientifique et de faire des liens explicites entre une classification de l'énergie dans la société (classification très liée aux sources) et la classification des formes d'énergie en physique. C'est ce que l'élève est amené à faire dans l'activité 1 du chapitre 2 (tableau 2). Dans les discussions sur les choix énergétiques dans la société, les formes et les transferts sont très souvent mélangés : on parle ainsi sans cesse d'énergie électrique comme si ce pouvait être une forme d'énergie stockée. Une des clés de compréhension des débats résident bien dans la distinction entre transferts et ressources. La distinction, entre d'une part les transferts et leurs modes et d'autre part le stockage et ses formes est mise explicitement en œuvre dans les deux premières activités du chapitre 2. Nous ne présentons que la première.

Dans cette activité 1 du chapitre 2, l'élève a à sa disposition des documents au sujet des différentes ressources et des différentes formes d'énergie ainsi que sur deux façons de catégoriser l'énergie en physique suivant la façon d'aborder les situations. On demande à l'élève d'indiquer dans un tableau (tableau 3), à l'aide de croix, de quelle nature est l'énergie stockée dans ces ressources. Dans chaque ligne l'élève doit mettre une croix pour la 1<sup>ère</sup> classification et au moins une croix pour la 2<sup>e</sup> classification.

La 1<sup>ère</sup> classification est directement issue du savoir à enseigner. Pour le programme de 1<sup>ère</sup> S, c'est la classification vue préalablement dans le contexte de la mécanique. Cette classification est ici étendue à d'autres phénomènes et à d'autres réservoirs d'énergie. Elle se justifie historiquement par la conservation de l'énergie

Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

dans le cas de la mécanique puis est restée opératoire pour d'autres domaines ; son extension au niveau microscopique a été rendu nécessaire par l'interprétation de l'énergie thermique (Valentin, 1983).

La 2<sup>e</sup> classification a une proximité plus grande avec les dénominations utilisées dans la société car elle renvoie à quelques domaines d'activité dans le domaine de l'énergie.

		1 <sup>ère</sup> catégorisation		2 <sup>nd</sup> e catégorisation				
		Cinétique	Potentielle	Mécanique	Thermique	Electro- statique	Chimique	Nucléaire
Non renouvelable	Fuel, gaz, charbon (ressource fossile)		X				X	
	...							
Renouve- lable	Soleil		X		X			X
	Vent	X		X				
	...							

**Tableau 3** Tableau de l'activité 1 du chapitre 2 (les croix sont les réponses correctes)

De plus, un des objectifs principaux de la séquence étant de permettre d'analyser des situations de la vie courante en termes de physiques, nous proposons à plusieurs reprises, dans la séquence, de transformer des textes ou supports destinés au grand public dans les termes du savoir à enseigner. L'activité suivante (figure 2) illustre la mise en œuvre de cet objectif. Cette activité est la première du chapitre 3 (tableau 2).

Le texte ci-dessous est issu d'un dépliant destiné au grand public :

*Une ampoule a certes pour objectif d'éclairer mais sachez qu'une ampoule **produit également de l'énergie thermique**. Près de 95% de **l'énergie que consomme** une ampoule à incandescence est consacrée à ce dégagement de chaleur. Cette énergie, vous la payez également alors qu'elle ne sert pas à éclairer. Les ampoules "basse consommation" permettent de réduire **cette énergie thermique**. La part de **l'énergie lumineuse** par rapport à l'énergie payée est donc plus grande.*



- 1) Réécrire ce texte en reformulant les passages en gras conformément au modèle.
- 2) En respectant les règles indiquées dans le paragraphe III du modèle, représenter l'extrait de chaîne énergétique correspondant à une ampoule en fonctionnement : pour cela, représenter l'ampoule et les transferts d'énergie en jeu lorsqu'elle fonctionne, mais pas les réservoirs en jeu.

**Figure 2** Activité 1 du chapitre 3

## Questions de recherche

Nos questions de recherche sont centrées sur la pertinence des choix de conception de la séquence en étudiant la capacité des élèves à analyser des situations aussi bien dans un contexte local (leur vie quotidienne) que global (les problèmes qui se posent aux sociétés au niveau de l'énergie). Nous cherchons à comprendre si les élèves sont effectivement outillés par le savoir de la physique pour décrire et analyser de telles situations lorsque, dans la séquence, nous prenons en compte explicitement les différents contextes et leur mise en lien. Cependant, si nous distinguons ici les situations qui relèvent d'un contexte local et celles qui relèvent d'un contexte global, cette distinction n'a pas été prise en compte dans le processus d'élaboration de la séquence.

Nous cherchons également à repérer les concepts qui semblent aider réellement les élèves à entrer dans une analyse des situations *en physique*. L'objectif est ainsi de dégager les concepts, les représentations symboliques (chaînes énergétiques) ou les registres langagiers qui semblent fondamentaux ou facilitateurs pour la compréhension des situations.

Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

### **Données collectées**

Dans cette perspective, nous avons recueilli les données suivantes lors de la mise en œuvre de la séquence d'enseignement dans une classe de physique de 1<sup>ère</sup> S (29 élèves) d'un lycée de centre-ville de Lyon : les productions écrites pendant l'enseignement de 9 élèves, des questionnaires écrits de tous les élèves (questionnaire de l'activité d'introduction, voir tableau 2) avant enseignement, des questionnaires écrits de tous les élèves après enseignement (dont le questionnaire de l'activité d'introduction) et de 6 entretiens individuels après la séquence.

Parmi les questions du questionnaire post enseignement, certaines sont situées dans un contexte relativement global au sens où elles demandent d'utiliser le savoir appris pour reformuler ou analyser des phrases courantes et des questions relevant du champ médiatique ou du débat de société (figure 3) :

A- Reformulez les quatre phrases suivantes de façon correcte du point de vue de la physique :

Une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique grâce à de l'énergie nucléaire.  
 Une éolienne utilise l'énergie du vent pour produire de l'énergie et de l'électricité.  
 Une ampoule basse consommation consomme moins qu'une ampoule à filament car elle produit plus de lumière.  
 Les énergies renouvelables peuvent être améliorées grâce à la technologie.

B- Prenez partie, grâce à vos connaissances de physique, au sujet de ces trois dialogues :

1	Jean : « La voiture électrique est une voiture "propre" » Elsa : « Sauf que j'ai vu que l'électricité était produite à partir de pétrole »
2	Élise : « 80 % de l'énergie consommée en France est d'origine nucléaire » Timothée : « non en fait c'est moins de 20 % »
3	Cyril : « Avec le Soleil on peut aussi facilement chauffer que faire de l'électricité » Juliette : « Non, c'est facile de chauffer et plus difficile de faire de l'électricité »

*Figure 3 Questions A et B de la 2<sup>ème</sup> partie du questionnaire*

D'autres questions utilisent un contexte plus local. Nous en donnons un exemple figure 4.

On peut trouver dans le commerce des lampes qui fonctionnent sans pile mais avec une "dynamo" (petit alternateur) et un accumulateur qu'on peut recharger "à la main". La lumière est fournie par des diodes électroluminescentes.  
 Elle s'utilise en deux étapes (1) tourner la manivelle (2) allumer la lampe

1. Proposer une description de chacune des deux étapes en termes énergétiques, éventuellement à l'aide de deux chaînes énergétiques (une pour chaque étape) si vous en ressentez le besoin.  
 2. Indiquer ce qu'il faudrait connaître pour calculer le rendement d'une telle lampe.

*Figure 4 Questions de la 3<sup>ème</sup> partie du questionnaire*

Les entretiens portaient d'abord sur les réponses formulées par les élèves à l'écrit dans le questionnaire après enseignement. La première question demandait de justifier oralement la réponse formulée à la question 1 de la figure 4 ci-dessus (chaîne énergétique pour la lampe dynamo). Cette question visait à tester la capacité à exploiter du savoir de la physique sur une situation courante mais aussi standard en physique. La deuxième question 2 visait à tester la capacité de transfert du savoir de la physique sur une situation qu'il faut d'abord analyser du point de vue de la physique pour ensuite appliquer l'outil du savoir de la physique : la chaîne. On demandait en effet aux élèves de prendre partie, comme pour les dialogues de la figure 3, au sujet du dialogue suivant : « Si on était plus économe en électricité, on résoudrait le problème énergétique » - « non, ça ne suffirait pas du tout, l'électricité représente moins de 10 % de la consommation d'énergie ».

Enfin, une question orale était posée : « Peux-tu expliquer pourquoi le professeur de physique de cette année a insisté sur le fait qu'il n'est pas correct en physique de parler d'énergie électrique ? ». Cette question visait à tester comment l'élève fait une différence entre la vie quotidienne et la physique en ce qui concerne l'énergie électrique. Les entretiens ont eu lieu plusieurs semaines après que les élèves aient répondu au questionnaire post-enseignement.

Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

## Principaux résultats

Nous donnons ci-après les résultats des questionnaires puis ceux des entretiens.

### Questionnaires avant et après enseignement

Nous donnons ci-dessous les résultats à quelques questions du questionnaire qui a été passé avant et après enseignement.

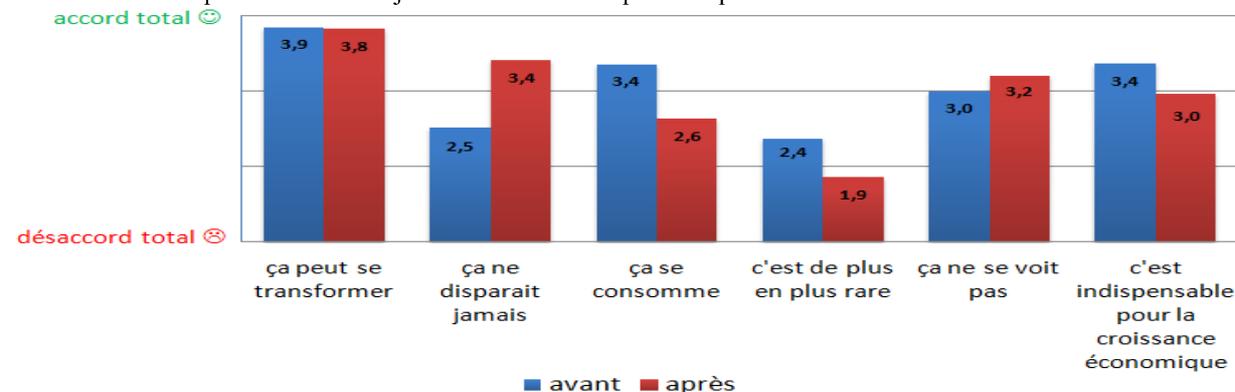
La figure 5 donne l'évolution des réponses des élèves concernant une des questions relatives aux propriétés de l'énergie.

Voici la formulation de cette question (nous avons sélectionné quelques-uns des items).

Donner une note de 0 à 5 aux propriétés suivantes : 0 si la propriété ne caractérise pas du tout l'énergie, 5 si la propriété la caractérise parfaitement.

L'énergie :	0	1	2	3	4	5
4. Ça peut se transformer						
5. Ça ne disparaît jamais						
8. Ça se consomme						
9. C'est de plus en plus rare						
10. Ça ne se voit pas						
12. C'est indispensable pour la croissance économique						

Il apparaît que la majorité des élèves avant enseignement considèrent que l'énergie peut se transformer, ce n'est pas le cas pour la conservation. Après enseignement, l'idée de conservation de l'énergie évolue dans le sens où elle ne disparaît pas, ne se consomme pas et n'est pas de plus en plus rare. On peut y voir là l'effet de l'enseignement du principe de conservation de l'énergie. L'idée de la nécessité d'énergie pour la croissance économique est largement présente avant enseignement et l'enseignement ne la dégrade quasiment pas. Ceci est important dans le cadre de la compréhension des enjeux de société visée par la séquence.



**Figure 5** Propriétés de l'énergie choisies par les élèves avant et après enseignement. Le graphe donne le choix moyen de la classe (les élèves devaient choisir entre 4 niveaux (désaccord total 1, accord total 4) ; nombre d'élèves : 27 avant et 29 après enseignement.

La deuxième partie du questionnaire demandait aux élèves de reformuler quatre phrases de façon correcte du point de vue de la physique. Nous donnons des éléments de résultats dans le tableau 4 (question A figure 3). On observe que la familiarité avec l'objet en jeu (en l'occurrence l'objet le plus familier est ici l'ampoule) n'est pas un gage de réussite. Les phrases les plus éloignées des situations étudiées en classe (comme c'est le cas de la dernière sur les énergies renouvelables) posent beaucoup de problème aux élèves. Pourtant cette dernière phrase testait réellement la capacité des élèves à distinguer la ressource (le stockage d'énergie) de son exploitation (le transfert et la notion de rendement).

Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

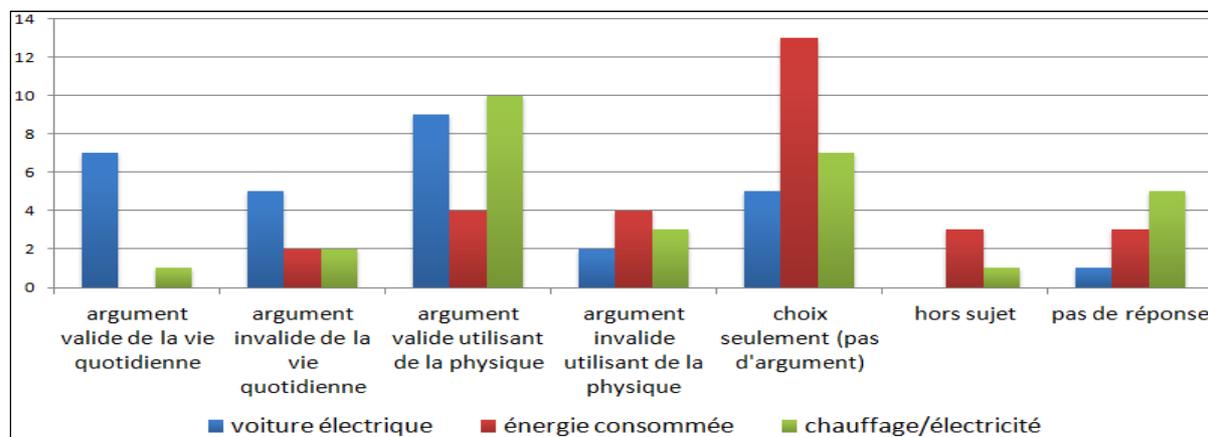
	Non réponse	Réponse correcte	Sens gardé (lexique courant ou modèle énergétique)	Modification selon le lexique du modèle
Une centrale nucléaire produit de l'énergie électrique grâce à de l'énergie nucléaire	1	11	24	23
Une éolienne utilise l'énergie du vent pour produire de l'énergie et de l'électricité	1	17	26	25
Une ampoule basse consommation consomme moins qu'une ampoule à filament car elle produit plus de lumière	4	8	10	9
Les énergies renouvelables peuvent être améliorées grâce à la technologie	7	8	10	9

**Tableau 4** Nombres d'élèves concernés par chaque catégorie de réponse dans la reformulation de phrases dans les termes de la physique enseignée (question A figure 3) Nombre total d'élèves : 29.

Enfin, il était demandé aux élèves de prendre partie, en argumentant, pour l'une ou l'autre partie dans un dialogue fictif (voir question B figure 3). Les types d'arguments fournis sont regroupés dans la figure 6.

La figure 6 montre que les élèves ont davantage d'arguments pour la situation impliquant la voiture électrique que pour les deux autres. Les prises de positions sont plutôt aisées dans le cas du dialogue sur la consommation d'énergie mais sont par contre difficilement argumentées. Cette argumentation nécessite de bien distinguer énergie et électricité, ce qui semble encore poser problème après enseignement.

Concernant le troisième dialogue, il n'est pas très surprenant d'observer que la plupart des arguments fournis relèvent de la physique puisque le contexte même de ce dialogue était proche de la discipline et formulé dans ses termes.



**Figure 6** Nombre des types d'arguments utilisés par les élèves pour défendre un point de vue sur des situations variées de la vie sociale. Nombre d'élèves : 29.

### Entretiens

L'analyse des entretiens fait apparaître que la représentation de la chaîne énergétique a un rôle positif pour aider les élèves à distinguer le stockage, la transformation et le transfert de l'énergie. Il ressort également qu'une partie des élèves ne dépasse pas la confusion faite dans le langage courant entre ressources énergétiques et transferts d'énergie (par exemple, l'électricité ne peut pas être une ressource en physique), alors que cette distinction est essentielle pour comprendre le défi énergétique.

Ces entretiens montrent aussi que certains élèves ont très peu de connaissances sur les enjeux énergétiques mondiaux et que ceci contrarie fortement la possibilité d'un usage pertinent du savoir enseigné. En effet, l'utilisation des connaissances de la physique pour comprendre le défi énergétique nécessite non seulement de maîtriser cette connaissance, mais aussi de connaître les enjeux énergétiques mondiaux. En d'autres termes, il manque à certains élèves la culture sociétale sur le sujet pour comprendre les enjeux de la séquence et pour rendre le savoir enjeu d'apprentissage fonctionnel.

Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

Plus précisément il apparaît que certains élèves ont des difficultés à distinguer électricité et énergie comme l'illustrent les extraits ci-dessous

Elève 5: (I= interviewer, E5 : élève 5)

- I mais est-ce que l'électricité est une source d'énergie est-ce que c'est une forme d'énergie ou une source d'énergie ou un transfert d'énergie
- E5 une forme d'énergie j'aurais mis une forme d'énergie
- I alors tu prendrais le premier ou le second est-ce que tu as l'air de dire les seconds mais en même temps le premier (inaud.)
- E5 *je pense qu'il faudrait être moins économe avec l'électricité qu'avec toutes les autres énergies qui qui polluent parce que l'électricité ça pollue mais moins que d'autres*

Ici l'idée d'électricité est fortement associée à celle de consommation de l'énergie dans la maison. Ceci est très fort pour l'étudiant 5 qui a une vue très restreinte des défis énergétiques, sa vue se limitant à ce qui se passe dans son environnement quotidien, en particulier à la maison.

Il ressort également que le niveau culturel des élèves sur le défi énergétique est très variable. Par exemple entre l'élève 2 qui se réfère à son environnement proche et l'élève 3 qui se situe au niveau mondial.

- I et d'après toi euh si l'électricité représente moins de 10 pour cent de la consommation de l'énergie où ils sont les autres ?
- E2 bah c'est un peu pour ça que je me pose la question c'est je vois pas trop enfin bah ça serait plus oui si ça serait plus consommation de l'énergie ça serait par exemple ceux qui se chauffent au fioul ou
- I mhm
- E2 oui enfin *après charbon il y a plus trop de personnes qui l'utilisent mais enfin les énergies fossiles non renouvelables* par exemple

L'élève 3 mobilise une vue globale :

- I alors dans dans le monde là si on se situe dans le monde c'est et quelles sont les sources d'énergie les plus importantes
- E3 ah les les sources les plus utilisées
- I oui
- E3 *bah c'est surtout les énergies fossiles comme le charbon euh notamment en Chine* dans tous les pays un peu moins développés euh le pétrole donc ça c'est tout ce qui est euh hydrocarbures
- I mhm
- E3 et euh bah l'électricité peut provenir aussi du nucléaire
- I mhm
- E3 dans les pays plus développés et euh sinon il y a les les énergies renouvelables donc euh la force mécanique du vent des marées du soleil tout ça

En conclusion, les principaux objectifs de la séquence sont partiellement atteints. La plupart des élèves sont capables d'utiliser au moins en partie les propriétés de l'énergie pour interpréter des situations familières. Cependant la distinction entre le stockage et le transfert n'est pas toujours faite spontanément par les élèves, en particulier lorsque la situation à étudier implique l'électricité. Le formalisme de la chaîne énergétique, s'il est évoqué, aide alors dans un second temps à faire cette distinction. Ce rôle particulier joué par l'électricité dans la vie courante illustre que la séquence aurait sans doute gagné à distinguer les situations d'étude locales, relevant de la vie quotidienne, et les situations globales, relevant du débat de société. Ceci devrait conduire à modifier l'objectif principal de la séquence « Analyser *une situation* du point de vue de l'énergie en physique, en particulier à l'aide de la notion de rendement » en « Analyser du point de vue de l'énergie en physique *une situation de la vie quotidienne et/ou en jeu dans le débat de société sur l'énergie*, en particulier à l'aide de la notion de rendement ».

Les entretiens nous conduisent à faire l'hypothèse qu'une grande partie des élèves ont peu de connaissances sur la situation mondiale des ressources en énergie et leur utilisation. Le programme officiel n'a pas vraiment favorisé le développement de ce type de connaissances, en considérant que c'était un acquis préalable à l'enseignement disciplinaire, effectué *en société*, alors que ce n'est manifestement pas le cas pour certains élèves. Ceci pose un problème important aux enseignants, et que l'institution n'a pas pris en charge : comment développer cette connaissance culturelle compte tenu du programme officiel ?

Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune ?

### **Références bibliographiques**

- Bruguière, C., Sivade, A., & Cros, D. I. (2002). Quelle terminologie adopter pour articuler enseignement disciplinaire et enseignement thématique de l'énergie, en classe de première de série scientifique ? *Didaskalia*, 20, 67-100.
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275 - 2314.
- Lemeignan, G. (1980). L'énergie (Documents et activités de l'élève et complément d'informations). In J. Agabra, J. M. Bérard, J. Carretto, A. Chomat, D. Demeester, G. Delacôte, J. Gautherin, J. P. Le Falher, G. Lemeignan, J. Mesnard, R. Pezet, A. Tiberghien, M. Verlhac & R. Viovy (Eds.), *Sciences physiques livre du professeur* (pp. 230-254). Paris: Hachette.
- The design based research collective. (2003). Design-based research: an emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- Miguet, A.-M., Bastard, H., Martinache, A., Perrey, S., Piel, V., Rondepierre, T., Tiberghien, A., Rochet, P., & Vince, J. (2014) Du programme officiel aux activités des élèves Un outil pour la conception d'une séquence aux contenus scientifiques cohérents. Bulletin de l'Union des Professeur de Physique et de Chimie, vol. 108, n°960.
- Ministère de l'Éducation Nationale. (1992). Nouveaux programmes des classes de seconde, première et terminale des lycées Bulletin officiel, Tome 2 (numéro hors série du 24 septembre 1992).
- Ministère de l'Éducation Nationale. (2000). Programmes d'enseignement de la classe de première. Bulletin officiel (n° 7 du 31 aout 2000 hors série).
- Ministère de l'Éducation Nationale. (2010). Programmes d'enseignement du lycée. Bulletin officiel (n° 9 du 30 septembre 2010 Bulletin officiel spécial).
- Roth, K. J., Garnier, H. E., Chen, C., Lemmens, M., Schwille, K., & Wickler, N. I. Z. (2011). Videobased lesson analysis : Effective science professional development for teacher and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(2), 117–148.
- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles: de Boeck.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laube, S., & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), 424-446.
- Valentin, L. (1983). *L'univers mécanique*. Paris: Hermann.
- Vince, J., & Tiberghien, A. (2012). Enseigner l'énergie en physique à partir de la question sociale du défi énergétique. *Review of science, mathematics and ICT education*, 6(1), 89-124.