

Enseigner l'énergie en physique à partir de la question sociale du défi énergétique

JACQUES VINCE, ANDRÉE TIBERGHIEU

Équipe COAST
UMR Interactions, Corpus, Apprentissage, Représentations (ICAR)
École Normale Supérieure de Lyon
France
jacques.vince@ens-lyon.fr
andree.tiberghien@univ-lyon2.fr

RÉSUMÉ

En France, l'enseignement de l'énergie évolue en tenant davantage compte des débats de société. Ceci influence les savoirs disciplinaires et les situations convoqués, et pose des questions à la théorisation de la conception de ressources. La théorisation développée dans le cas d'un enseignement disciplinaire, autour du triangle Savoir–Enseignement–Apprentissage, doit être adaptée. L'origine sociale du thème conduit à tenir compte de savoirs non disciplinaires, à transposer des enjeux généraux en questions plus spécifiques puis en situations d'étude. L'article présente des outils théoriques de conception sur l'exemple du "défi énergétique". L'analyse du thème, en particulier en termes d'institution, permet de proposer une séquence d'enseignement visant à concilier enjeu de société et enjeu d'apprentissage.

MOTS-CLÉS

Énergie, ressources pédagogiques, questions de société, physique, design

ABSTRACT

Currently in France, there is an evolution of the teaching theme of energy that takes greater account of society debates. This affects the disciplinary knowledge and situations involved in teaching, and raises questions about how theorizing the design of resources. The design theory developed in the case of disciplinary teaching, around the triangle Knowing-Teaching-Learning, must be adapted. The

social background of the theme led us to consider non-disciplinary knowledge, to transpose the general issues into more specific questions then into situations to be studied. The article presents theoretical design tools for the “energy challenge”. The analysis of the theme allows us to offer a teaching sequence aimed at reconciling society issues and learning.

KEYWORDS

Energy, teaching resources, social issue, physics, design

CONTEXTE

En France comme dans beaucoup d'autres pays occidentaux, l'enseignement scientifique se donne explicitement comme objectif d'améliorer la culture scientifique (“scientific literacy”) des futurs citoyens. Ces orientations sont d'abord apparues dans les filières non-scientifiques. Cette chronologie, qui dépasse le cadre français, peut être vue comme le signe d'une certaine tension entre une éducation à la prise de position citoyenne outillée par des concepts scientifiques et une formation scientifique plus traditionnelle visant la formation scientifique pour elle-même et la préparation à de futures études scientifiques, comme si ces orientations étaient difficilement compatibles. Notre propos n'est pas de discuter ici les choix politiques et sociaux qui conduisent à une telle évolution. Nous cherchons plutôt à comprendre et analyser en quoi cette évolution oblige à repenser la structure des savoirs enseignés de la discipline, son épistémologie, et par suite le processus de production de séquences sur de tels sujets.

Ainsi en France, progressivement, les programmes officiels (Ministère de l'Éducation Nationale, 1992, 2000, 2010) ont fait référence à des débats ou des choix de sociétés dans lesquels la science est impliquée de manière évidente (voir Annexe I). 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 sociétés, compréhension des démarches ayant mené aux concepts actuels par exemple au travers de l'histoire des sciences, etc...

Dans le cas de l'énergie, sujet dont l'enseignement est discuté dans cet article, tout se passe comme si la crise énergétique à venir et/ou l'importance grandissante des débats de société autour des choix énergétiques avaient accéléré l'introduction de tels

objectifs dans les curricula. Par exemple, le nouveau programme de la classe de première des filières générales non scientifiques de l'enseignement français annonce comme thème d'étude la problématique du "défi énergétique", tandis que celui de la filière scientifique va jusqu'à expliciter une question socialement vive comme point de départ de la partie sur l'énergie ("En quoi la science permet-elle de répondre aux défis rencontrés par l'Homme dans sa volonté de développement tout en préservant la planète ?"). Néanmoins au regard des exigences du programme, l'enseignement de questions socialement vives au sens où les travaux sur le sujet l'entendent (Albe, 2009) ne peut pas être considéré comme effectif dans les filières générales des lycées français. Pourtant l'évolution des objectifs et des instructions officielles en termes de questions de sociétés induit inévitablement de nouvelles tensions entre savoirs s'appropriant la discipline et savoir utiles pour le débat citoyen, entre le savoir savant de référence et le savoir visé pour répondre aux objectifs assignés. Selon les choix faits aussi bien dans l'élaboration des programmes officiels que dans la construction de ressources d'enseignement, les contenus de la discipline qui sont convoqués et leur articulation avec les enjeux de société peuvent varier et nous discuterons de ces différences plus loin dans le cas de l'énergie (unité « Cadre théorique »).

Parallèlement à ces évolutions curriculaires, des travaux théoriques ont été produits ces dernières années sur la conception de ressources basée sur une activité de recherche en didactique et sur la prise en compte de la pratique professionnelle des utilisateurs potentiels de ces ressources. Notre équipe a contribué à cette théorisation dont quelques grandes lignes seront dégagées dans la partie « cadre théorique ». Cependant, cette théorisation de la conception n'a pas été pensée à ce jour spécifiquement pour l'enseignement de questions ou d'enjeux de société (que ce soit comme enjeu d'enseignement en tant que tels ou seulement comme éléments de contexte très prégnants). Cet article se propose de faire un premier pas dans la mise à l'épreuve de ces outils théoriques et dans l'adaptation à ces nouveaux objectifs. Ceci sera discuté dans la partie « Vers une théorie spécifique..... », dans le cas particulier de l'enseignement de l'énergie. Les spécificités d'un tel sujet, nombreuses, seront préalablement débattues dans l'unité « Analyse du savoir scientifique.... ». Enfin la dernière unité de l'article illustrera, grâce à quelques exemples, comment ces éléments théoriques peuvent aider à façonner des ressources d'enseignement.

CADRE THÉORIQUE

La question de la conception des ressources ou de nouveaux dispositifs d'enseignement a été soulevée dans le domaine de la recherche en didactique des sciences depuis près d'une dizaine d'années (Méheut & Psillos, 2004). La théorisation de cette conception pose la question du niveau pertinent de la théorie. Ainsi les

auteurs qui se nomment « The design based research collective » (2003) considèrent que les « grandes théories » comme le socioconstructivisme sont insuffisantes car les concepteurs doivent nécessairement faire des choix sur différentes composantes des ressources qui ne relèvent pas du champ de cette « grande théorie ». Précisons que l'expression « grande théorie » renvoie à une théorie de portée générale et donc abstraite, notamment les théories du développement humain et d'apprentissage, des processus d'enseignement, l'épistémologie de la discipline. Par exemple une théorie d'apprentissage ne donnera pas d'orientation sur les choix de l'ordre des concepts à enseigner ou sur l'organisation de la classe la plus adaptée à l'enseignement de certains concepts en lien avec l'expérience, avec une activité d'investigation, ou une visée de culture scientifique. Ainsi Ruthven, Leache, Laborde & Tiberghien (2009) précisent la nécessité de théories spécifiques :

«However, the design process may draw upon other kinds of knowledge, not least “grand theories” (Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer & Schauble, 2003.....): theories general in scope and correspondingly abstract in form; notably theories of human development and learning, of the epistemology of the discipline, or of the process of instruction. Moreover, it is not unusual to find distinct grand theories of these types informing different aspects of the design process. This has led designers to create more specific frameworks, intermediary between grand theory and the process of design. Such frameworks extract, coordinate, and contextualize those aspects of several grand theories that are pertinent to developing, analyzing, and evaluating teaching designs» (p. 330 - italique par nous).

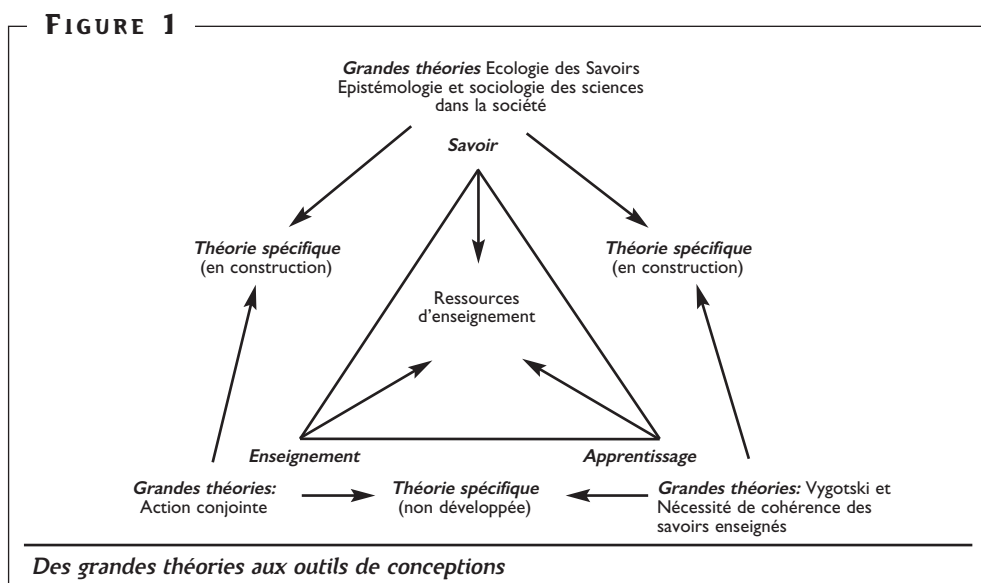
Ces choix dépendent de théories relevant de *champs différents*, en particulier l'apprentissage, l'épistémologie, l'enseignement. Il n'est donc pas surprenant que différentes « grandes théories » puissent conduire à des ressources semblables alors qu'une même théorie peut conduire à des ressources différentes (diSessa, 2006).

Une longue pratique de conception de ressources menées en collaboration entre enseignants et chercheurs, nous a conduits à une analyse réflexive de cette pratique, documentée par l'évolution des résultats et des concepts de la recherche. Nous avons ainsi élaboré un cadre théorique pour la conception (Ruthven, Leach, Laborde & Tiberghien, 2009; Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009) qui repose sur deux choix fondamentaux :

- Ce cadre théorique doit s'appuyer sur plusieurs théories générales et doit prendre en compte l'enseignement, l'apprentissage et le savoir, qui sont les pôles du triangle didactique. Ainsi plusieurs *grandes théories sont mobilisées* en lien avec les trois pôles de ce triangle (figure 1).

- Le choix des grandes théories n'est que la première étape d'un processus conduisant à *des constructions théoriques beaucoup plus spécifiques*, afin d'aboutir à des outils utilisables par des concepteurs de ressources.

Ainsi, une théorie spécifique est construite à partir de plusieurs grandes théories associée à deux voire trois pôles du triangle didactique. De plus, les outils de conceptions associés s'appuient non seulement sur ces théories spécifiques mais aussi sur l'expérience professionnelle. En effet, construire des ressources d'enseignement nécessite de nombreux choix, par exemple du fait de contraintes comme la durée des séances, le programme, l'évaluation, un élément de savoir à enseigner... Certains choix sont essentiellement fondés sur cette expérience. Il reste néanmoins une différence importante par rapport à la conception habituelle de ces ressources : l'explicitation des choix. Un débat scientifique peut alors être mené sur les ressources produites.



La figure 1 donne les grandes théories que nous avons choisies, nous les précisons ci-dessous.

Savoir

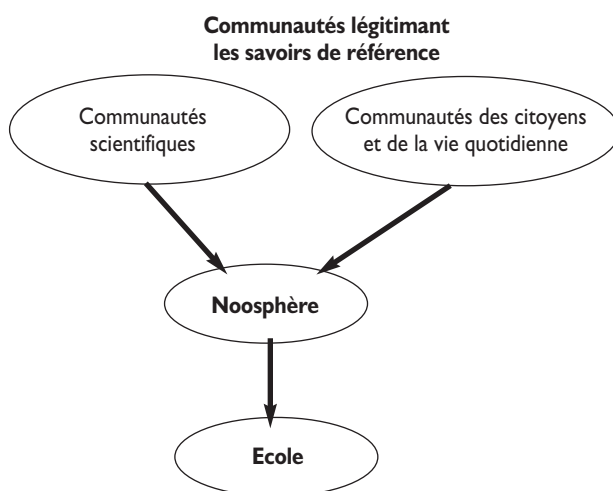
Le choix de “grandes théories” pour le savoir ne va pas de soi dans le cas où la perspective est la formation du citoyen dans la mesure où le savoir n’est plus seulement interne à la discipline enseignée mais est en relation étroite avec les savoirs de la vie citoyenne. Ceci nous conduit à utiliser plusieurs « grandes théories ». Tout

d'abord nous introduisons une théorie pertinente pour analyser les relations entre les savoirs de l'école et ceux extérieurs à l'école. Il s'agit de la théorie anthropologique du savoir (Chevallard, 1991). Nous prenons ensuite une approche sociologique des relations du savoir scientifique avec la société, puis nous choisissons un point de vue épistémologique sur le savoir scientifique. Un autre choix du niveau d'une grande théorie relative aux spécificités de l'argumentation scientifique est également à aborder car elle est considérée comme essentielle pour les questions socialement vives auxquelles le citoyen doit faire face et prendre position.

Théorie anthropologique

La théorie anthropologique affirme que le savoir vit et se développe dans une institution et que son passage d'une institution à une autre implique une *transposition* et une *légitimation de l'institution qui l'a produit, c'est une institution de référence* (Chevallard, 1991). En ce sens, le savoir intègre les pratiques ; par la suite nous utiliserons le terme *savoir* avec cette signification. Cette transposition est réalisée par une nébuleuse d'institutions appelée noosphère : par exemple le groupe constitué sous la responsabilité du ministère de l'éducation pour définir un programme, les auteurs de manuels scolaires, de ressources diverses. Cette théorie prend aussi en compte la question de la légitimité du savoir transposé. Notons que durant la plus grande partie du 20^{ème} siècle, le savoir de référence qui est transposé est celui d'une communauté scientifique, une institution savante.

FIGURE 2



Le cheminement principal des savoirs entre les institutions externes à l'école et l'école (les rétroactions n'ont pas été représentées, ni les liens directs entre les institutions de référence et l'école)

Dans le cas de la formation du citoyen, ce sont les questions de société qui vont orienter les choix des contenus d'enseignement. Ainsi, il y a au moins deux institutions de référence qui *légitiment* ces contenus : la communauté scientifique (où nous regroupons Physique, Chimie, et Sciences de la Vie et de la Terre) et la communauté sociale actuelle dans laquelle nous vivons quotidiennement que nous appellerons « communauté des citoyens» (figure 2).

Approche sociologique et épistémologique

L'analyse de la relation entre ces deux institutions de référence doit alors se poser car elle va orienter les choix dans la conception des ressources. Pour cela nous ne nous référerons pas à une grande théorie en tant que telle mais essentiellement à un travail d'analyse mené par Albe (2009) qui porte sur le fonctionnement des sciences dans la société et ses conséquences sur l'enseignement. Très succinctement, il ressort que, depuis une trentaine d'années, non seulement les contenus des sciences évoluent mais les relations entre sciences et sociétés ont été profondément modifiées. La « marchandisation » de la science se développe au sens où son financement public favorise les liens avec l'industrie et la production de brevets et ainsi la propriété privée du savoir. De plus, les questions sociales soulevées par des dangers des productions technologiques comme le changement climatique, les OGM, les centrales nucléaires, les téléphones portables, etc., ou encore la remise en cause de la science comme l'évolution darwiniste modifie les relations entre sciences, technologie et sociétés. Nous posons clairement que ces questions sociales qui émergent dans la société ne peuvent pas être résolues par les scientifiques seuls, car elles comportent des aspects sociaux, économiques, éthiques etc. Ce rôle de la science qui ne donne pas la solution mais contribue seulement à traiter la question est pour nous essentiel, dans un contexte d'apprentissage.

Un autre aspect du fonctionnement des sciences est donné par les sociologues des sciences sur la façon dont se construit la science actuelle. Pour Albe (2009), certains auteurs auraient tendance à dissocier, d'un côté la pratique expérimentale dans l'élaboration des sciences par un travail empirique et d'un autre côté la dimension sociale des pratiques scientifiques où le discours jouerait un grand rôle, comme si le rôle du discours et la socialité des sciences n'intervenaient qu'une fois la production des faits expérimentaux réalisée. Nous considérons qu'il n'y a pas de dichotomie et que des pratiques sociales, mêmes si elles ne sont pas identiques, interviennent à toutes les étapes. Cette transposition des pratiques est de plus en plus prise en compte dans les programmes, même si, de fait, elle est encore partielle. En revanche des courants de recherche en didactique des sciences portent sur l'intégration de ces pratiques dans l'enseignement afin de modifier la vision des sciences comme une somme de connaissances « vraies » sur la nature, vers celle des sciences comme une

entreprise sociale, dont le corpus de savoirs est socialement construit¹. Ce point théorique joue un rôle essentiel dans les choix ultérieurs pour la conception de ressources.

Il est nécessaire de compléter ces analyses par celle plus spécifique du fonctionnement du savoir en science afin d'en préciser une référence. Pour cette analyse nous reprenons celle que nous avons développée pour l'enseignement de la physique « pour elle-même ». L'épistémologie choisie place l'activité de modélisation du monde matériel au cœur de la physique. Basée sur les propositions de plusieurs épistémologues (Bachelard, 1979; Bunge, 1973; Giere, 1988; Hacking, 1983/2005), cette approche se caractérise par les points suivants. Tout d'abord, nous considérons que les activités d'observation et d'expérimentation sont loin d'être toujours guidées par la théorie physique, même si d'autres le sont très directement. Plusieurs exemples dans l'histoire de cette discipline montrent que des observations n'ont pas été initiées par des hypothèses théoriques mais par des qualités de curiosité, de réflexivité des scientifiques. Elles ont alors précédé les formulations théoriques. Même dans le cas où l'observation est initiée par la théorie, elle peut « déborder » la théorie et conduire à « voir » d'autres événements et à les caractériser. De ce point de vue, les moments d'observation et d'expérience sont des activités fondamentales dans toute formation scientifique, ils font intervenir la perception et ils ne peuvent être remplacés par des descriptions écrites (Hacking, 1983/2005). Une deuxième idée forte porte sur le rôle de la modélisation comme lien entre les propositions théoriques et les expériences. Nous suivons sur ce point Bachelard (1979) et Hacking (1983/2005) qui considèrent que l'articulation entre théories et expériences ne peut se faire directement mais nécessite l'élaboration de modèles. La construction de modèles renvoie à deux processus : l'un partant de la théorie, pour la rendre plus concrète ; l'autre partant de l'expérience pour la rendre plus abstraite. Nous appelons modélisation ce double processus et modèle son résultat. De ce fait, un modèle est un intermédiaire entre la théorie et l'expérience et possède en quelque sorte deux facettes.

Un point essentiel de cette analyse épistémologique est que l'activité centrale en physique est une activité qui consiste à faire le lien entre trois niveaux² de connaissance qui renvoient à des mondes différents : des constructions théoriques et un champ expérimental constitué d'objets et d'évènements et des modèles comme intermédiaires, chacun associé à un lexique et des représentations spécifiques, même

1 On peut considérer que le développement de la démarche d'investigation relève de cette nouvelle orientation. Cette vision des sciences comme pratiques conduit à considérer que le terme « savoir » utilisé dans la théorie anthropologique des savoirs inclut les pratiques; dans cette théorie le savoir vit dans une institution; il est donc associé aux pratiques de cette « vie ».

2 Le terme « niveau » n'implique ici aucune idée de hiérarchie.

si elles sont en relation forte. Cette mise en lien se fait par une activité de modélisation importante qui consiste, d'un côté à sélectionner et traiter les éléments théoriques correspondants aux phénomènes et objets étudiés ; de l'autre à sélectionner des objets et événements, à les décrire avec les mots de la physique et/ou à procéder à des expériences mesurables sur ces événements (Tiberghien & Megalakaki, 1995; Gaidioz, Vince & Tiberghien, 2004; Duschl & Grandy, 2008; Schwarz et al., 2009).

L'argumentation

Nous précisons seulement ici qu'en didactique des sciences, la plupart des travaux réfèrent à Toulmin (1958) qui modélise le discours argumentatif (Osborne, Erduran, & Simon, 2004; Jimenez-Aleixandre & Erduran, 2008). Cette modélisation est bien adaptée pour l'argumentation scientifique d'un discours rationnel monologique (Plantin, 1996). Dans l'argumentation qui met en jeu la langue naturelle et l'interaction, les locuteurs n'utilisent pas une langue scientifique parfaite et la référence de l'argumentation doit donc être élargie. Actuellement, nous n'avons pas encore précisé ces références.

Apprentissage

Le socioconstructivisme a été choisi comme une grande théorie (Vygotski, 1934/1997). Nous insistons particulièrement sur la dynamique entre les deux plans inter et intra-psychique :

Any function in the child's cultural development appears twice, or on two planes. First it appears on the social plane, and then on the psychological plane. First it appears between people as an inter-psychological category, and then within the child as an intra- psychological category (Vygotski, cited in Wertsch, 1985, p. 60).

Pour nous, la classe permet aux élèves de construire du sens au plan social dans lequel se réalise le développement culturel. Le développement culturel des élèves est favorisé par la médiation du langage et d'autres personnes, en particulier celle de l'enseignant et des autres élèves.

La distance proximale de développement est un autre aspect de la théorie de Vygotski que nous avons particulièrement utilisé. Cet aspect peut également être lié au constructivisme piagétien, sur lequel de nombreuses études de conceptions d'étudiants ont été fondées.

Un autre choix théorique sur l'apprentissage, compatible avec le socioconstructiviste est de considérer l'apprentissage comme une entrée dans les pratiques (Lave & Wenger, 1991). Ce choix sur l'apprentissage n'est pas indépendant des choix concernant les deux autres pôles, enseignement et savoir. En effet, pour le

savoir, ce choix nécessite de prendre en compte les pratiques des communautés de référence, et ainsi se pose la question : quelles pratiques scientifiques et/ou celle de la vie citoyenne, seront prise en compte et comment dans la conception des ressources ? Nous traiterons cette question dans les parties suivantes. Pour l'enseignement, il nécessite de considérer la classe comme une communauté de pratiques.

Il faut aussi préciser que notre position sur l'apprentissage a été renforcée par une série de travaux de recherche en didactique des sciences et des mathématiques. Tout d'abord, le cheminement de l'apprentissage d'un élève (*learning pathway*) ne suit ni une décomposition rationnelle des connaissances disciplinaires, ni l'ordre d'introduction des savoirs enseignés en classe. Ce cheminement peut commencer par la compréhension des relations entre les concepts sans une réelle compréhension de chacun des concepts ; nous ne développerons pas ici ce point (voir Tiberghien, Vince, & Gaidioz, 2009). Le lien avec notre choix épistémologique de la modélisation permet de préciser que les relations entre les niveaux des objets et événements et ceux des théories et modèles sont particulièrement difficiles, l'observation en physique va dépendre de la théorie quand elle est connue bien sûr, ce qui est le cas de la physique enseignée.

Un autre point porte sur la granularité des éléments de connaissance qui peuvent être appris. La construction de la compréhension d'un concept ou une notion nécessite l'établissement de nouvelles relations entre des éléments de connaissance, ces éléments pouvant être « petits », au sens où leur domaine de fonctionnement est local. Les relations construites par les élèves entre de petits éléments de connaissance peuvent être différents de ceux en jeu dans les savoirs enseignés et les élèves peuvent donc acquérir des éléments du savoir enseigné, sans une compréhension conceptuelle plus globale.

Enseignement

La théorie de l'action conjointe (Sensevy, 2011) qui a été choisie pour l'enseignement pose que la classe est considérée comme une communauté de pratiques et que *les actions du professeur et des élèves sont conjointes* et ont pour enjeu le savoir. Cette approche permet alors de considérer ces actions comme des transactions dont l'objet est le savoir (incluant les pratiques). Dans cette théorie, trois dynamiques sont considérées : l'avancée du savoir (chronogénèse), le partage des responsabilités du savoir dans sa classe (introduction, argumentation, utilisation, etc), l'évolution du milieu disponible aux élèves ou encore leur environnement. Suivant les actions des élèves, le professeur va réguler les trois dynamiques en :

- introduisant ou non de nouveaux savoirs ;
- donnant la responsabilité du savoir aux élèves (dévolution) ;

- officialisant certains savoirs comme étant ceux de la discipline ou de la société civile suivant les institutions qui les légitiment (institutionnalisation) ;
- organisant le milieu qui va ou non permettre aux élèves de mettre en œuvre certaines pratiques des communautés de référence.

En plus de ces choix théoriques, nous faisons des hypothèses sur certaines relations entre enseignement et apprentissage. Plusieurs résultats montrent l'importance dans l'enseignement de l'établissement de liens entre les différentes notions enseignées, *la continuité du savoir et sa cohérence* semblent jouer un rôle important dans l'apprentissage des élèves (Roth et al., 2006; Roth et al., 2011; Kelly, 2011). Ainsi, sans une continuité et cohérence établies par l'enseignant, la compréhension se construit par « petits éléments » et ne conduit pas à un sens plus global proche du celui du savoir enseigné en jeu mais au contraire peut en diverger. En relation avec nos choix épistémologiques et d'apprentissage, nous considérons que les liens entre l'observation d'une situation matérielle, son modèle théorique et la théorie plus générale sont essentiels à établir explicitement. L'introduction des pratiques comme l'argumentation ou la démarche d'investigation, augmente notablement la variété des liens à établir et donc à prendre en compte dans la conception de ressources d'enseignement.

Comme nous l'avons mentionné dans l'unité « Contexte », nous cherchons dans cet article à comprendre et analyser en quoi l'introduction de problématiques sociétales dans les programmes contraint la structure des savoirs enseignés de la discipline, leur articulation dans une séquence d'enseignement, l'épistémologie de la discipline scolaire enseignée, et par suite le processus de production de séquences sur de tels sujets, qui nécessite forcément de faire des choix, que nous tentons d'analyser théoriquement. Une des questions posées est celle du développement *de théories spécifiques et des outils de conception de ressources* sur des sujets intégrant des questions de société. Une différence essentielle entre les théories spécifiques et les outils de conception est que les premières ont une visée descriptive (au sens où elles permettent d'analyser les relations entre les trois pôles du triangle) alors que les outils de conceptions ont une visée prescriptive (Edelson, 2002).

Nos réflexions sont illustrées par le thème de l'énergie, qui nous paraît particulièrement pertinent pour mener ce travail. En effet, nous avons déjà montré à quel point les éléments d'introduction et de problématisation du thème avait évolué ces dernières années dans les programmes français. Pourtant, les savoirs disciplinaires à enseigner (relevant quasi exclusivement de la physique) sont de "vieux" savoirs. L'adaptation de ces savoirs à ces nouvelles problématiques est donc une étape cruciale pour leur "mise en scène" dans la classe et au sein les ressources produites.

ANALYSE DU SAVOIR SCIENTIFIQUE ET DE SON ARTICULATION AVEC DES QUESTIONS DE SOCIÉTÉ SUR L'ÉNERGIE

Enseignement de l'énergie et questions socialement vives

Le cas actuel de l'enseignement de l'énergie en France dans le contexte de l'enseignement des questions socialement vives mérite d'abord d'être précisé. Legardez et Alpe (2001) cités par Albe caractérisent ces dernières comme doublement vives : elles suscitent des débats dans la production des savoirs de référence et elles sont vives dans la société en provoquant des débats prégnants dans l'environnement social et médiatique. Le cas des questions socialement vives concernant l'énergie n'est caractéristique que du deuxième point en ce qui concerne la physique, car, au regard de l'âge des concepts et des méthodes scientifiques nécessaires, la vivacité "savante" n'est pas concernée : les nouveaux savoirs permettant d'influencer ou d'orienter des questions sociales énergétiques relèvent pour l'essentiel de la technologie (amélioration des rendements ou des capacités de stockage par exemple) ou, lorsqu'ils constituent de nouvelles découvertes en physique ou en chimie, c'est la question technique de leur exploitation qui est posée. On retrouve cependant quelques caractéristiques importantes des questions socialement vives : divergence des opinions sur les choix de société concernant les modes de production et de consommation d'énergie, pas de résolution possible par la mise à l'épreuve expérimentale, une intervention des valeurs ainsi que des intérêts divers, des implications dans des domaines variés... Quoiqu'il en soit la définition anglo-saxonne de "socio-scientific issues" (Driver, Leach, Millar & Scott, 1996) correspond bien aux programmes actuels de l'enseignement secondaire français, y compris partiellement en filière scientifique : des questions qui ont un intérêt social et qui impliquent une dimension scientifique.

La prise en compte dans l'enseignement secondaire des choix de société en matière d'énergie et des défis qui se posent aux sociétés est maintenant explicite, alors qu'elle ne l'était pas dans les années 90. Du point de vue de la théorie anthropologique, on peut considérer que cela est le résultat d'une modification des choix de la noosphère, de prendre en compte de manière accrue des savoirs qui vivent dans la communauté des citoyens et de la vie quotidienne. Par rapport à des situations d'apprentissage de la "physique pour elle-même", cela modifie en partie les savoirs convoqués à l'école et leur articulation avec les problématiques proposées aux élèves, au risque de laisser apparaître des décalages entre les questions censées être traitées et les éléments de savoirs classiques de la discipline convoqués, et qui ne peuvent qu'y répondre que très partiellement. Le risque d'un contournement des questions sociétales qui servent de point d'entrée est ainsi augmenté. On remarque d'ailleurs comme l'a déjà fait Legardez (2006, cité par Albe) que même lorsque le "chapeau" introductif des programmes

contextualise en usant de références explicites aux enjeux de société ou aux nécessaires connaissances pour des débats, les contenus sur l'énergie ne prennent pas la forme de questions. Legardez parle d' "objets d'enseignement scolaire qui renvoient à des questions vives dans les références et/ou dans les savoirs sociaux mais qui ne se présentent pas sous une forme scolaire problématisée" ; c'est ce qui est appelé la neutralisation des savoirs mais qui conduit souvent en pratique au contournement des questions socialement vives (Albe, 2009, p. 10). L'entrée par la question sociale risque rapidement de déboucher alors sur des objets d'enseignement "neutralisés". Comme l'indique Albe (2009), en l'illustrant, la transposition didactique a tendance à réduire la controverse, pour des raisons que nous ne détaillons pas ici mais qui touchent pour l'essentiel à la déstabilisation possible de pratiques enseignantes habituelles (gestion du débat et de la prise de parole, statut du savoir circulant dans la classe, délimitation des savoirs à institutionnaliser...). Le fait que cette neutralisation se fasse sentir dès l'étape de rédaction des programmes (pas de questions dans les contenus, un champ conceptuel clairement restreint à la discipline, pas de suggestions de débat, un savoir à apprendre très explicite...) permet d'affirmer que pour l'instant, dans l'enseignement général français, des questions socialement vives autour de l'énergie ne sont pas enseignées en tant que telles.

Savoirs anciens, problématiques récentes

Cette neutralisation des savoirs est particulièrement observable en physique, discipline scolaire qui se contente depuis longtemps d'enseigner de "vieux" savoirs : la physique enseignée est celle du 19^e siècle et des siècles précédents, les concepts au programme dans les parties correspondant à l'énergie n'y échappant pas. Dans le cas de l'énergie, ces "vieux" savoirs peuvent aider à l'argumentation dans des débats sur les choix énergétiques ou à leur meilleure compréhension. Cependant, bien d'autres savoirs, dont l'élaboration dans les champs disciplinaires de référence est bien plus récente, sont également nécessaires : savoirs technologiques (l'amélioration du rendement de telle éolienne), des savoirs économiques (le coût de telle production énergétique ou les investissements nécessaires et leur durée d'amortissement...), des savoirs sociologiques (la perception et les représentations du danger de telle ou telle moyen de production d'énergie...). Certes, pour les praticiens du domaine de l'énergie, ces champs disciplinaires s'interpénètrent, au point qu'il serait absurde, pour ces acteurs de parler de "vieux" et de "nouveaux" savoirs : les progrès technologiques sont permis par des connaissances plus théoriques, les dangers sont parfois évaluables et communicables par les scientifiques... Mais à l'école, il en va tout autrement : les savoirs restent largement cloisonnés par la structuration des disciplines. Et force est de reconnaître que les savoirs de physique actuellement dans les programmes et qui peuvent contribuer au traitement de ces questions de sociétés, sont des savoirs pour

l'essentiel élaborés au plus tard au 19^e siècle. Pour la production de ressources d'enseignement, cette possible tension entre savoirs anciens associés à une pratique ancrée culturellement dans l'enseignement et problématiques récentes devra être prise en compte.

Plus généralement, la culture de la discipline scolaire "physique" (et de ses enseignants, contrairement à des enseignants de Sciences de la Vie et de la Terre par exemple) ne contribue pas à prendre à bras le corps (au sens de "en faire un objet d'apprentissage" et pas seulement un élément illustratif) des questions actuelles qui, par ailleurs, dépassent largement et par nature le cadre de la discipline. Un enseignant de SVT utilise des concepts apparus récemment dans le champ scientifique, traite de questions nouvelles et est plus souvent confronté à des problématiques touchant à la société ou à l'éthique.

Des polysémies communautaires : science vs société

Les difficultés de prise en charge effective du savoir de la discipline pour enseigner dans une logique de question de société sont accrues lorsqu'il s'agit de prendre en charge un concept tel que l'énergie.

La théorie anthropologique du savoir nous permet d'appréhender l'enseignement des concepts liés à l'énergie par une analyse en termes d'institutions très diverses et très différentes. Ces institutions peuvent dans un premier temps être réduites à deux : les concepts liés à l'énergie vivent dans la communauté scientifique mais aussi dans la vie de tous les jours, y compris à travers les débats de société.

Les différences entre ces réseaux de concepts sont de deux sortes : elles résident à la fois dans les concepts convoqués mais aussi dans la signification de certains concepts selon la communauté dans laquelle ils vivent. Chacune de ces deux "communautés" a construit un réseau de concepts autour de l'énergie, avec ses articulations spécifiques et leurs significations propres. Tout "discours sur l'énergie" peut ainsi être interprété d'un double point de vue car les communautés dans lesquelles vivent ces savoirs ne sont pas hermétiques l'une l'autre. Un des objectifs de l'apprentissage sur l'énergie pour le débat citoyen est de bien distinguer les contextes d'utilisation des concepts et les significations liées à tel ou tel contexte, afin de finalement mieux les articuler. L'énergie peut ainsi être qualifiée de façon bien différente dans le contexte de la physique scolaire ou dans celui de la vie quotidienne : pour la physique scolaire, l'énergie peut être potentielle, cinétique, mécanique, interne, microscopique, macroscopique... ; dans la vie quotidienne, l'énergie peut être solaire, nucléaire, géothermique, hydraulique, électrique, fossile, "verte", "propre", renouvelable, éolienne...

Dans la vie courante, la classification est très liée à la source d'énergie car c'est bien la ressource énergétique, sa disponibilité, sa facilité d'exploitation ou ses nuisances

éventuelles qui font débat socialement. Les choix énergétiques à l'échelle d'un pays concernent la façon de "produire" l'énergie qui va être "consommée", le rythme de la consommation et de la production, les ressources disponibles sur le territoire ou à l'extérieur... Il est donc normal que le champ sémantique courant autour de l'énergie soit structuré autour de ces modes de productions qui renvoient eux-mêmes à ce que le physicien appellerait les réservoirs d'énergie.

Des finalités et des réseaux conceptuels différents

Plus généralement, ces nuances sémantiques sont révélatrices de réseaux conceptuels très distincts entre les deux communautés, du fait d'objets d'analyse et de finalités différents. Par exemple, le vocabulaire courant sur l'énergie entre parfois en contradiction avec le principe de conservation (dans la vie courante, l'énergie est *consommée, produite, perdue, payée...*) ce qui obligera en science à "traduire" ces termes en distinguant par exemple la fonction des systèmes vis-à-vis de l'énergie (convertisseurs ou réservoirs d'énergie, certains objets pouvant être les deux). L'idée que l'énergie se consomme, diminue au gré de nos activités ("je n'ai plus l'énergie de...") est conforté par le fait que même des objets domestiques ayant pour fonction de stocker l'énergie finissent par être *usés* (cas des piles). Dans la vie courante la confusion des termes *puissance, énergie, force ou même vitesse* est permanente, dans une sorte d'hybride désignant, selon les domaines, la capacité physique ou intellectuelle à se surpasser (une boisson énergétique peut même être annoncée comme ayant une grande "puissance énergétique"), des capacités militaires (puissance de feu), ou la rapidité d'exécution (un processeur est puissant s'il effectue rapidement les opérations...).

En physique, du fait d'une approche en termes de système, l'énergie est d'abord définie comme une grandeur qui se conserve pour un système "isolé" (Feynman, 1980). Lors des échanges entre systèmes, la forme du stockage et le lieu de stockage peuvent changer au cours de transferts d'énergie. C'est la force de ce modèle de l'énergie résumé par ces trois propriétés (*conservation, stockage, transfert*) que de pouvoir décrire et mettre en relations des phénomènes très variés : chauffage, rayonnement lumineux, mouvement, électricité... L'énergie ne peut plus dans ce cadre être "électrique" comme dans la vie courante et le modèle fait davantage que normer le vocabulaire : il permet par exemple de comprendre que l'électricité ne peut pas être stockée. Lors de l'apprentissage, ce devra donc être aussi dans les liens entre les objets et les événements associés et les concepts permettant de les décrire que ce modèle prendra tout son sens et apparaîtra pertinent. Ce modèle n'est pas sans conséquence sur les enjeux de société ; par exemple la notion même de conservation est bien souvent négligée dans la communauté des citoyens ou dans les discours socio-économiques alors qu'elle est un cadre d'analyse qui peut s'avérer utile. En effet, c'est

bien parce que l'énergie ne peut pas être créée à partir de "rien" qu'il faut trouver des "ressources". C'est bien parce que l'activité économique s'accompagne inévitablement de "consommation" d'énergie (de "transferts" dirait le physicien) qu'il convient de trouver sans cesse de nouvelles ressources. C'est bien parce que les réservoirs classiques d'énergie sont de taille finie que les choix énergétiques deviennent un enjeu de société.

Questionner le "défi énergétique"

Ces choix de société au sujet de l'énergie apparaissent ainsi comme un défi pour l'avenir. Pas étonnant dans ces conditions que l'expression "défi énergétique" émerge depuis peu dans les programmes. L'expression apparaît explicitement dans le nouveau programme de 1^{ère} L-ES (programme commun aux filières littéraires et économiques et sociales, ne destinant pas à des études scientifiques) ; dans le programme de 1^{ère} scientifique, la partie sur l'énergie ("Convertir l'énergie et économiser les ressources") est une des deux qui illustrent le thème "Agir – Défis du XXI^e siècle").

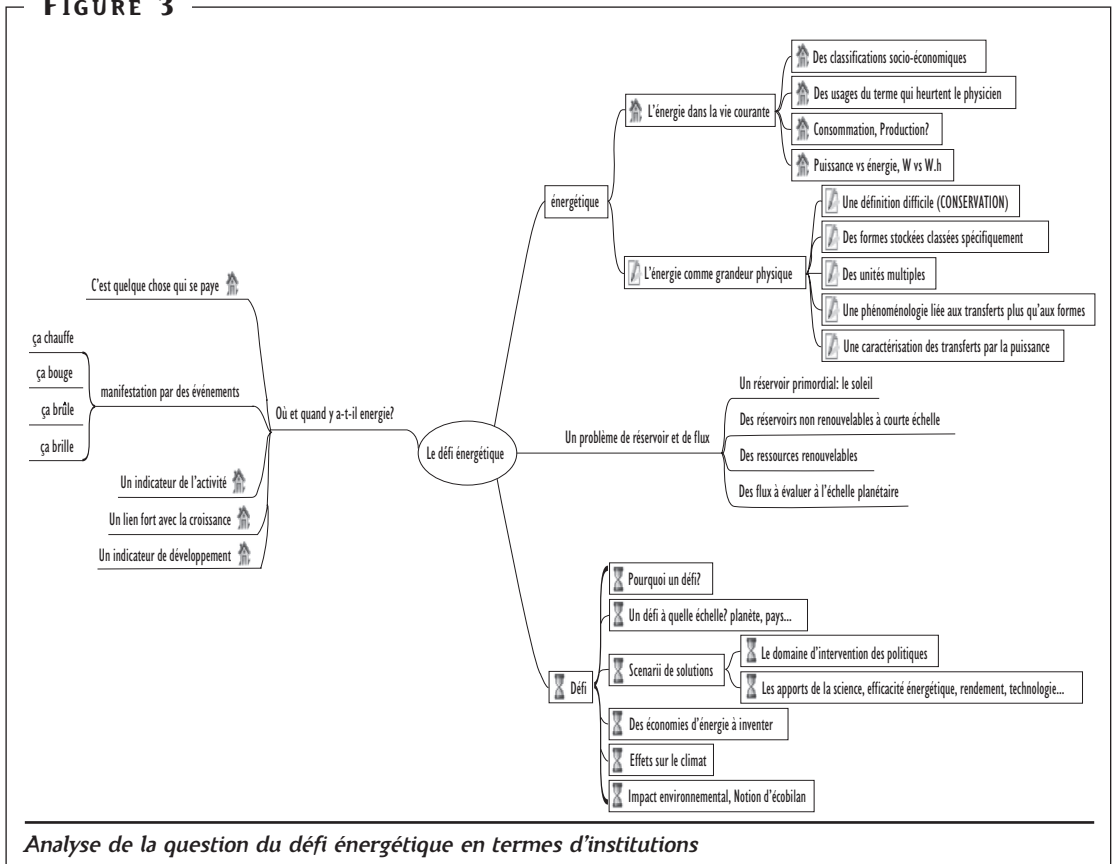
Pour exploiter pleinement la théorie anthropologie, nous avons tenté de questionner ce que peut recouvrir cette expression, les entrées possibles, les tensions sous-jacentes, en tentant d'observer ce qui relève de la science, de la vie courante et du débat sociétal, ou des deux. Remarquons d'ailleurs que l'expression elle-même regroupe deux termes ayant chacun une appartenance institutionnelle forte : le défi fait référence à un défi de développement socio-économique durable et soutenable pour l'environnement, "énergétique" montre que le monde scientifique est inévitablement concerné.

Cette problématique "vive" oblige en tous les cas à penser (et pas seulement d'un point de vue scientifique) l'origine du défi à relever, la nature du défi, les solutions envisageables, les atouts et les risques des choix possibles. Cela induit également de questionner la capacité à exploiter des ressources "renouvelables" qui permettraient d'utiliser l'énergie à un rythme comparable à celui de la régénération du réservoir ou à l'exploitation d'un réservoir infini à l'échelle de temps humaine (le soleil). Dans la nébuleuse de questions induites, certains savoirs sont convoqués, par des scientifiques, des économistes, des industriels, des décideurs politiques, des lobbies... La figure 3 ci-dessous propose de dégager quelques pistes d'analyse en tentant de repérer le champ d'intervention des deux institutions principales que nous avons distinguées dans l'unité « Cadre théorique ». On a ainsi porté en vert (ou avec le symbole 🏠) le champ de la vie quotidienne (ou socio-économique au sens où ces disciplines émergent du discours médiatique courant sur ces questions), en bleu (symbole 🏢) l'institution "physique", en rouge (symbole ⚙️) les questions ou sous-questions de société à traiter et analyser : comprendre pourquoi ce sont des questions de société pourrait être en tant que tel un enjeu d'apprentissage, souvent négligé dans les programmes. La figure 3 permet

également de pointer que du point de vue de la physique, la tension entre un terme "étranger" à la discipline comme "défi" (pour la société) et un concept de la discipline comme "énergie" peut être analysée comme un problème de réservoirs et de flux de transfert (quantifié par le concept de *puissance*) (voir figure 3). Une des questions sociales transposée de la question du défi énergétique pour la future séquence d'enseignement pourrait ainsi être : « quels sont les choix pour les sources d'énergie de l'avenir qui permettent d'assurer des besoins durables et bons marchés ? ».

Les longues analyses que peuvent produire les experts sur un tel sujet (par exemple Jancovici & Grandjean, 2006) ne se passent d'ailleurs d'aucune de ces références. Les aspects scientifiques, technologiques, sociologiques, politiques ou même psychologiques sont tous nécessaires pour traiter une telle question ou au moins proposer des scénarii. Dans le même temps, ce travail d'expertise contraint sans cesse, pour communiquer dans la communauté des citoyens ou des décideurs, à redéfinir les termes utilisés ou à prendre des précautions sémantiques fortes en fonction des interlocuteurs.

FIGURE 3



Analyse de la question du défi énergétique en termes d'institutions

VERS UNE THÉORIE SPÉCIFIQUE ET DES OUTILS DE CONCEPTIONS

Actuellement, nous ne pouvons pas proposer de théorie spécifique achevée ; il s'agit d'en donner les orientations principales afin de construire une séquence d'enseignement visant la culture scientifique et incluant l'outillage pour la compréhension de débats de société. Cette théorie vise à guider la conception d'une séquence d'enseignement qui soit en accord avec un programme officiel, compatible avec l'organisation actuelle de l'enseignement dans les lycées français et en accord avec les choix théoriques présentés préalablement. Cette théorie doit donc respecter ces diverses contraintes.

Une première façon de prendre en compte ces contraintes est de considérer qu'elles ne se situent pas à la même échelle temporelle : l'année académique, la séquence, une séance, une activité spécifique, une intervention ponctuelle. De plus elles ne se situent pas à la même granularité du savoir : objectifs de l'ensemble de la séquence, structuration du contenu, objectifs d'une activité spécifique, etc. Ceci conduit le concepteur à procéder par échelles "emboîtées" avec des rétroactions. Nous avons choisi trois échelles, macro, méso et microscopique. L'échelle macroscopique correspond à l'ensemble de la séquence, celle mésoscopique correspond à la séance et son découpage de l'ordre de la dizaine de minutes ou en étapes et celle microscopique correspond à des événements de l'ordre de quelques échanges ou de quelques dizaines de secondes.

Une autre façon de tenir compte de ces contraintes est de s'appuyer sur la théorie de l'action conjointe et en particulier sur les trois dynamiques de l'évolution de la classe : l'avancée du savoir, le partage des responsabilités, l'évolution du milieu ainsi que sur le point de vue plus global du contrat didactique. Pour structurer la conception, nous regrouperons ces composantes en deux ensembles : d'une part l'avancée du savoir et le milieu associé et d'autre part le partage des responsabilités en lien avec le contrat didactique. Bien sûr ces deux ensembles ne sont pas indépendants ; cette structuration permet d'isoler à un certain moment l'objet de la conception.

Choix de conception à l'échelle macroscopique

Nous proposons tout d'abord de travailler sur l'avancée du savoir et le milieu puis sur le partage des responsabilités et le contrat.

Avancée du savoir et milieu

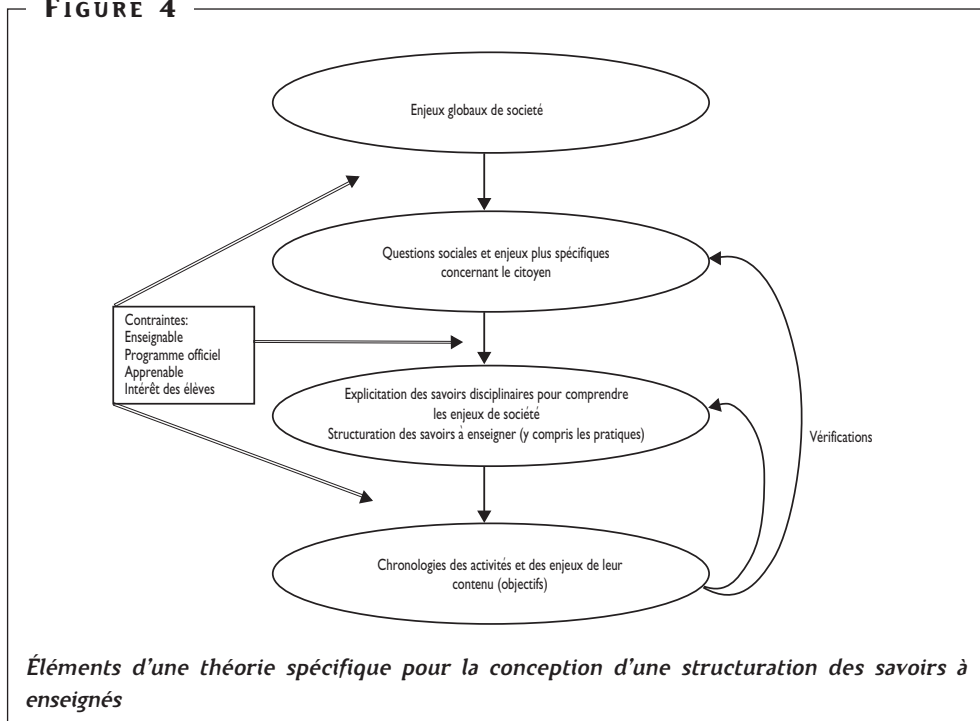
Une première étape consiste en l'analyse du programme officiel. Dans le cas d'une perspective de culture citoyenne contrairement au cas de la perspective de la formation d'un scientifique, le programme nécessite d'analyser comment les savoirs

et/ou les compétences scientifiques s'articulent avec des savoirs et compétences qui ne sont pas exclusivement du domaine des sciences comme cela a été montré dans l'unité précédente pour l'énergie. Cet ensemble de savoirs et de compétences associées sont à relier à l'enjeu de société visé par le programme. Une analyse de leur cohérence est à mener.

Ce travail, mené sous la contrainte des objectifs définis par le programme, va conduire à sélectionner des *enjeux globaux qui font débat dans la société*, sources de situations *transposées* qui doivent pouvoir être étudiées dans la classe et permettre aux élèves d'acquérir les savoirs et compétences définies dans le programme officiel (figure 4). Nous détaillons ci-dessous ce long processus de transposition, dont la dernière étape relève de l'échelle mésoscopique.

Les enjeux de sociétés concernent le plus souvent des situations réelles ou des dispositifs sociotechniques comme les centrales nucléaires ou hydrauliques, des appareils ménagers, des moyens de transport plus ou moins innovants (voiture à hydrogène par exemple...).

FIGURE 4



La figure 4 illustre ce travail de transposition, long et complexe car il s'agit d'analyser puis de mettre au point des situations à étudier en classe et qui doivent à la fois avoir un enjeu « fidèle » à l'enjeu de société (mais transposé et ne traitant souvent

qu'un aspect réduit de l'enjeu global) et permettre aux élèves l'apprentissage de savoirs et pratiques correspondant aux compétences du programme. Ainsi on passe d'une analyse descriptive des questions sociales et des savoirs disciplinaires à un travail prescriptif de conceptions d'activités d'enseignement.

La question se pose de la transposition des enjeux globaux c'est-à-dire les questions sociales en jeu dans la société et la façon dont elles sont abordées dans la classe. Dans le cas du défi énergétique qui est une toute première étape de la transposition, un enjeu de société global pourrait être formulé sous forme d'une question, déjà évoquée plus haut, comme « quels sont les choix pour les sources d'énergie de l'avenir qui permettent d'assurer des besoins durables et bons marchés ». De plus comme nous l'avons montré dans l'unité précédente pour le défi énergétique, cette transposition implique un changement d'enjeu ; alors que dans la société, il s'agit de faire des choix, dans la classe il s'agit de partir d'une question sociale spécifique afin que son enjeu puisse être effectivement étudié et donc que les élèves puissent non seulement le comprendre globalement mais aussi comprendre les composantes scientifiques qui permettent de contribuer à leur analyse.

Il faut noter que certains enjeux globaux sont quasiment impossibles à transposer compte tenu du programme officiel. Par exemple dans le cas de l'énergie, étudier des questions comme la possibilité du remplacement des centrales nucléaires françaises par des éoliennes dans un pays donné nécessite des connaissances technologiques et socio-économiques qui vont bien au delà de ce qui peut être enseigné compte tenu des connaissances initiales des élèves et du temps imparti à l'enseignement. Ceci illustre à quel point chaque étape du processus de transposition est fortement contrainte par le programme et les objectifs de l'enseignement, les caractères « enseignable » et « apprenable » des savoirs et situations en jeu, mais aussi par l'intérêt potentiel des élèves.

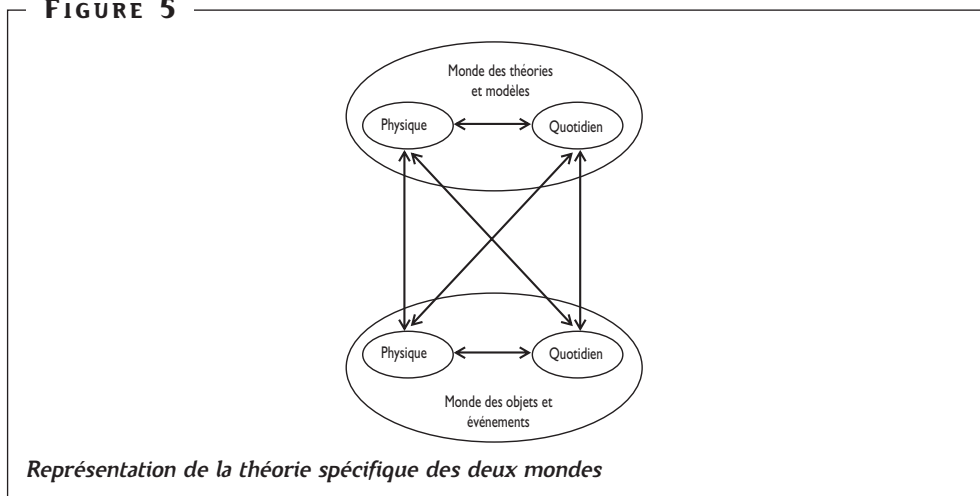
L'étude des enjeux et des questions plus spécifiques va permettre de faire émerger la nécessité de compréhension d'un ensemble de savoirs (intégrant les pratiques) à délimiter et structurer. Notons que deux types d'approche pourraient être envisagés, en termes de projet ou de séquences d'enseignement. Dans le cas du projet, les situations étudiées vont conduire les élèves à prendre conscience de la nécessité d'approfondir tels ou tels points, ces points pouvant être déjà des concepts ou connaissances de la physique et on laisse les élèves conduire eux même l'approfondissement et l'ordre dans lequel ils vont le réaliser. Si on décide *a priori* des principaux points à approfondir, on conçoit alors une séquence. Le cas de l'énergie traité ici se situe dans cette deuxième possibilité. Les enjeux et questions spécifiques et l'analyse des savoirs associés permettent aux concepteurs de transposer quelques situations à étudier. À cette étape de la transposition, la théorie spécifique que nous avons déjà développée peut être mise en œuvre (Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009).

Dans cette théorie spécifique, contrairement à l'analyse épistémologique de la

physique présentée ci-dessus, nous ne distinguons que deux niveaux ; le niveau théorique et celui du modèle sont regroupés mais sont en revanche distingués du niveau des objets et événements.

La figure 5 montre toutes les relations potentielles entre les situations sélectionnées, leur description en termes d'objets et d'événements et les composantes théoriques à expliciter. Notons ici que les concepts de la physique, leurs relations d'une part et les relations causales, fréquentes dans la vie quotidienne sont considérés ici comme une part « théorique ». Le travail sur ces relations conduit à préciser les situations matérielles de la vie courante à étudier et les savoirs nécessaires pour cette étude. Un exemple sera donné dans l'unité suivante consacrée à la séquence d'enseignement. Cette théorie spécifique permet d'être plus explicite et en particulier d'être beaucoup plus attentif aux différents savoirs. Cette différence est illustrée par les mots utilisés en physique, et dans la vie quotidienne avec un sens identique ou différent. Par exemple, « énergie » ou « puissance » sont utilisés en physique avec un sens différent de celui de la vie quotidienne. La théorie rend plus attentif à ces différences de sens, en poussant à expliciter les contextes d'utilisation des termes.

FIGURE 5



Cette théorie permet l'analyse et conduit à une explicitation des savoirs disciplinaires pour comprendre les enjeux de société introduits dans l'enseignement et à en proposer une structuration. Cette explicitation permet de prendre conscience de la « quantité » de différents savoirs nécessaires. Afin que cet ensemble de savoirs soient apprenable il convient d'en faire une analyse conduisant à choisir ceux qui sont essentiels alors que d'autres ne seront pas indispensables. À partir de là, un travail prescriptif est mené impliquant des choix sur les savoirs à enseigner et les situations étudiés.

À ce stade, un outil spécifique sous forme de tableau est utilisé (voir figure 6 pour un exemple) ; il conduit à préciser ce qui est déjà connu des élèves et ce qui est à connaître, aussi bien en physique et dans la vie quotidienne. Ces connaissances sont différenciées également selon les deux niveaux de la théorie/modèle et des objets/événements et leurs relations.

Ainsi, l'enjeu social spécifique sélectionné, va conduire à mettre en œuvre des savoirs qui seront structurés différemment ou même seront différents de ceux que l'on aurait enseignés si l'approche était l'enseignement de la discipline pour elle-même. Par exemple si la question est : « Est-ce que l'installation d'une éolienne dans mon jardin va me permettre de couvrir mes besoins ? », les concepts de puissance et quantité d'énergie seront directement utiles pour étudier la situation. Si la question est « Comment puis-je agir assez facilement pour réduire ma consommation d'énergie globale de 20% ? » de nombreuses idées vont devoir émerger ; il faudra distinguer ce qui relève de la science et ce qui relève d'autres aspects (économique, modes de vie, part des différentes consommations énergétiques individuelles...), et dans ce qui relève de la science les concepts qui ne seront pas directement utiles. Ainsi pour ces questions autour des choix énergétiques, la notion physique de travail n'est pas indispensable alors que les notions de rendement, de réservoirs d'énergie et de transfert vont l'être. Parallèlement des notions technologiques (faisabilité technologique actuelle d'un nouveau dispositif à l'échelle industrielle, contraintes technologiques et industrielles), socio-économiques (coût du développement d'une filière, rentabilité, durée d'amortissement...) sont indispensables pour un tel débat et des points de vue éthiques (estimation du rapport avantage/risque, conséquences pour les générations futures...) doivent aussi être pris en compte de façon incontournable dans un débat complet d'expert. Un réseau de concepts du type de celui présenté dans la figure 3 va alors émerger ; certains relèvent de la vie quotidienne, d'autres de la physique, d'autres de disciplines différentes de la physique.

À ce stade, le concepteur obtient un ensemble de savoirs disciplinaires pour étudier les questions sociales spécifiques. Un travail de vérification (figure 4) doit alors être mené à partir de questions comme : « Cet ensemble recouvre-t-il ce que demande le programme ? Cet ensemble permet-il d'étudier et de débattre de ces questions sociales ? ».

Il faut ensuite penser la chronologie de l'introduction des concepts, toujours sous des contraintes d'enseignabilité et d'apprenabilité. Cette chronologie et le choix des situations d'étude doivent sans cesse être pensés en référence à la question initiale, et pas en référence exclusive à la discipline enseignée. La discipline reste un « outil de compréhension » et non l'enjeu, même si l'apprentissage d'une notion peut à certains moments être l'enjeu de la situation didactique proposée par les concepteurs. Ce travail de séquentialisation et de choix des situations se situe à l'échelle mésoscopique que nous présentons ci-dessous.

Par exemple, la séquence proposée dans l'unité « Une proposition de séquence » se termine par le principe de conservation de l'énergie alors que dans le cas d'un enseignement disciplinaire classique, pour lui-même, ce principe est posé comme fondateur de l'énergie et intervient donc très tôt comme trait définissant le concept.

Partage des responsabilités vis-à-vis du savoir/pratique et le contrat

À ce niveau macroscopique, comme nous l'avons déjà introduit avec l'avancée du savoir, le choix d'un enseignement par projet ou planifié au départ modifie la responsabilité des élèves vis-à-vis du savoir.

Nous ne développons pas ce point dans la mesure où compte tenu du programme, le choix d'une séquence planifiée est imposé.

Dans le cas de la séquence planifiée, la prise de responsabilité du savoir pas les élèves est essentielle, mais du point de vue de la conception, c'est principalement à l'échelle mésosocopique qu'elle sera prise en compte.

Choix de conception à l'échelle mésosocopique

Comme dans le cas de l'échelle macroscopique nous proposons tout d'abord de travailler sur les activités qui vont permettre l'avancée du savoir avec des choix à faire sur le partage des responsabilités et le contrat.

L'avancée du savoir et le milieu

La conception des situations proposées dans ces activités est particulièrement délicate car elles doivent remplir de nombreuses contraintes en particulier rendre explicite l'enjeu de société mais aussi permettre aux élèves d'acquérir les savoirs et pratiques. Elles doivent donc fournir les informations suffisantes et poser des questions pertinentes pour que l'élève prenne conscience de *la responsabilité citoyenne de répondre à cet enjeu*. Ces mêmes activités mais aussi d'autres doivent permettre à l'élève de *prendre la responsabilité de construire les savoirs et pratiques* nécessaires pour l'étude de la question sociale soulevée.

Chacune de ces activités demande donc un travail spécifique de mise au point. Il faut préciser la tâche demandée et le milieu qui va permettre à l'élève de la réaliser en construisant de nouvelles idées qu'il pourra mettre en débat. Pour cela les informations nécessaires sont particulièrement importantes à déterminer, car il ne suffit pas de donner des informations relevant de la discipline enseignée, mais de donner *des informations sur la situation sociale*. Cette mise au point des informations nécessite un travail spécifique.

L'ensemble de ces activités doit être cohérent du point de vue des savoirs et pratiques et du point de vue des enjeux sociétaux. Il faut donc rendre explicite les savoirs et pratiques et leurs liens variés avec l'enjeu sociétal afin que le professeur

puisse l'institutionnaliser. L'institutionnalisation qui va rythmer l'avancée des savoirs et pratiques au cours de la séquence va nourrir la mémoire de la classe. Une vigilance particulière sur la cohérence interne aux savoirs et pratiques et externe entre l'enjeu sociétal et les savoirs et pratiques est essentielle pour l'apprentissage. À cette échelle, l'outil associé à la théorie spécifique des deux mondes peut être mis en œuvre (voir un exemple dans l'unité présentant la séquence, Figure 6).

Partage des responsabilités vis-à-vis du savoir/pratique et le contrat

Cette mise au point des activités permet de décider les situations où des débats seront particulièrement pertinents pour développer l'argumentation scientifique. En effet, plusieurs travaux ont montré que, pour qu'il y ait débat avec argumentation, les élèves devaient avoir déjà des connaissances sur les objets du débat. Il s'agit alors de décider à quel moment de la séquence situer ces débats pour qu'ils soient nourris. Il ne s'agit pas ici de reprendre dans la classe des débats de société où seules les connaissances quotidiennes vont émerger. La classe n'est pas la « place publique ». Ce débat doit avoir une visée d'apprentissage et non de prise de décision pour la société. L'école est un lieu qui a une certaine « distance » avec la société.

Ces activités doivent aussi permettre aux élèves de construire de nouveaux savoirs en physique, et donc à certains moments d'étudier des situations pour élaborer une interprétation en termes de physique et donc construire de nouvelles idées qu'il s'agit également de mettre en débat. Il faut donc que le concepteur permette à l'élève d'assumer une double responsabilité, celles de s'approprier les enjeux de société et les connaissances disciplinaires. Ceci nécessite que le contrat didactique dans la classe soit tel que le professeur attende de l'élève qu'il propose des idées relevant aussi bien de la physique que de la vie quotidienne et qu'il organise des temps de débats sans pour autant que ces savoirs en jeu dans la classe soient tous à questionner de la même façon. Le questionnement des idées en physique va conduire à une argumentation scientifique différente de celle des débats sur les questions sociales. Nous ne développons pas plus ce point ici ; soulignons seulement que cette gestion de la classe nécessite de la part du professeur des compétences aussi bien épistémologique, disciplinaire, sociale et didactique.

À la fin de cette phase, on arrive donc à une structuration chronologique des savoirs et des compétences associées ainsi que des liens conceptuels entre les différentes composantes du contenu de l'enseignement. Il est indispensable de vérifier la cohérence de ces activités avec la structuration des savoirs et les questions sociales à étudier.

Nous ne développerons pas ici l'analyse microscopique, qui doit en particulier permettre une vigilance au niveau de la formulation des textes.

UNE PROPOSITION DE SÉQUENCE

La progression proposée dans cette partie a servi de support à un enseignement effectif de sciences physiques dans deux classes de 2nde (grade 10) d'un lycée français durant l'année scolaire 2009-2010. Cet enseignement a duré entre 6 et 8 semaines, à raison d'une durée hebdomadaire de 2h en classe entière et 1h30 en demi-classe (séance permettant des manipulations par les élèves). La particularité de cette séquence est qu'elle n'a été dictée par aucun programme officiel détaillé puisque cet enseignement a été mené à titre d'expérimentation (dans le cadre d'une introduction possible mais finalement non retenue dans un futur programme officiel). La commande de l'institution scolaire pour cette expérimentation était de traiter du "défi énergétique", avec quatre pistes de travail possibles mais non imposées :

- Activités humaines et besoins en énergie
- Les énergies non renouvelables et leurs perspectives d'avenir à l'échelle humaine
- Les énergies renouvelables
- Optimisation de l'utilisation de l'énergie

Les classes de 2nde concernées, comme toutes celles de ce niveau en France, sont composées d'élèves n'ayant pas encore fait de choix d'orientation. Le thème choisi et les quatre pistes proposées sont révélatrices du souci de l'institution de faire des liens entre sciences physiques et débat de société, sans négliger des problématiques plus technologiques (optimisation de l'utilisation de l'énergie) qu'il convient alors d'interpréter en termes physiques : par exemple l'amélioration du rendement des ampoules est une avancée technologique qui a été possible grâce à une analyse physique en termes de transferts d'énergie utiles et "perdus" et la physique permet également de comprendre en quoi elle optimise l'utilisation de l'énergie.

L'objectif était donc bien d'outiller conceptuellement les élèves pour comprendre *une partie* des enjeux et débats de société actuels autour de l'énergie. Nous présentons ce travail au niveau macroscopique puis au niveau mésoscopique.

Échelle macroscopique

La séquence a été construite en tenant compte des deux institutions mentionnées dans la partie « Cadre théorique » (communauté scientifique et communauté de la vie quotidienne). Cette "grille de lecture" nous a aussi conduits à poursuivre un objectif supplémentaire : porter un discours sur les limites d'intervention de la physique sur ces sujets, en délimitant explicitement le champ de compétence de la discipline, à travers un réseau de concepts au sujet duquel il convenait de faire des choix. Ceci permet donc de porter un discours, dépassant le cadre de l'énergie, sur

l'épistémologie de la discipline. Nous ne rentrons pas dans le détail de cet aspect dans ce qui suit.

Sous les contraintes mentionnées dans la figure 4 (programme ou “consignes” ici, enseignabilité, intérêt des élèves...) et à l'aide de l'analyse proposée (figure 3), la construction de la séquence commence par l'élaboration de questions sociales plus spécifiques qui concernent le citoyen, soit dans sa vie quotidienne soit dans la compréhension des débats de société et la prise de position éventuelle dans ces débats. Par exemple ici, nous pouvons citer quatre questions plus spécifiques, parmi d'autres et pas forcément explicitées pour les élèves, dont des éléments de réponses (ou de compréhension des enjeux) sont pris en charge par la séquence proposée :

- Est-il possible de consommer moins d'énergie pour des utilisations ou des besoins identiques, et si oui comment ?
- Une ampoule basse-consommation consomme moins mais rend-elle le même service qu'une ampoule classique ?
- Qu'est-ce qui influence la consommation des appareils électriques domestiques ? En choisir des économes en énergie signifie-t-il qu'ils ne rendront pas le même service ?
- Comment est-il possible que l'éclairage représente 10% de consommation électrique en France tout en ne représentant que 3% de l'énergie totale consommée ?
- L'hydrogène peut-il contribuer à résoudre nos problèmes d'épuisement des ressources énergétiques ?

Le concepteur doit alors identifier les savoirs disciplinaires devant être convoqués pour répondre, au moins partiellement, à ces questions. Par exemple, en référence aux questions ci-dessus, les concepts suivants devront inévitablement constituer des enjeux de l'apprentissage : puissance, rendement, types de transferts d'énergie, notion de transfert utile ou “perdu”, différence entre ressource d'énergie et transfert (pour comprendre que l'énergie ne peut pas être “électrique” mais seulement son transfert)... La phase de structuration de ces savoirs, puis de séquentialisation des activités qui permettront de les construire et/ou de les faire vivre sera fortement contrainte par le souci de “tenir” l'enjeu sociétal au service duquel la discipline contribue. Cela n'empêche pas pour autant de proposer parfois des activités d'enseignement qui visent l'apprentissage de concepts de physique pour eux-mêmes.

Nous donnons dans la figure 6 un exemple d'utilisation de l'outil d'analyse déjà évoqué dans l'unité précédente au sujet des deux mondes, pour traiter la question “Une ampoule basse-consommation fait consommer moins mais rend-elle le même service qu'une ampoule classique ?”.

FIGURE 6

	Déjà connu par les élèves		A apprendre par les élèves	
	en physique	dans la vie quotidienne et autres disciplines	en physique	dans la vie quotidienne et autres disciplines
Théorie/ Modèle	- Si on n'alimente pas en électricité, on n'a pas de lumière		- Différence puissance-énergie - Rendement	- Les ampoules basse-conso ont un meilleur rendement. Pour une même consommation, la part consacré au rayonnement est plus grande
Relation entre théorie/ modèle et objets/ événements		- Une ampoule se caractérise par son nombre de watt	- Transfert utile vs pertes - Quelle que soit l'ampoule, la consommation reste proportionnelle à la durée d'utilisation	- Une ampoule basse-conso permet d'avoir autant de lumière qu'une ancienne ampoule parce qu'elle chauffe moins
Objets/Événements	- Une ampoule nécessite d'être branchée sur un réseau d'alimentation	- Il y a différents types d'ampoules - Une ampoule chauffe en même temps qu'elle éclaire - Il y a de nouvelles ampoules qui s'appellent "basse-consommation"		- Pour le même service rendu (un éclairage donné pendant un certain temps), j'ai intérêt à utiliser une ampoule basse-consommation si je veux faire des économies d'énergie.

Exemple d'utilisation de la grille d'analyse du savoir permettant de traiter la question "Une ampoule basse-consommation fait consommer moins mais rend-elle le même service qu'une ampoule classique ?"

Si des questions du type de celles-ci-dessus peuvent servir d'introduction motivante pour les élèves, il est ensuite complémentaire, dans une logique d'apprentissage de la physique d'explicitation, en adoptant une formulation communicable aux élèves, les objectifs de la séquence. Par exemple, pour la séquence que nous proposons, et sans exhaustivité, nous listons quelques objectifs-compétences dans la figure 7 :

La formulation de ces objectifs résulte de l'étape de l'explicitation des savoirs et la structuration des savoirs à enseigner du processus décrit à la figure 4. Ces objectifs intègrent totalement l'articulation à construire entre les différentes institutions dans lesquelles le savoir est en jeu. Cette explicitation permet en effet de prendre en charge le passage de situations donnant lieu à débats dans la société et mettant en jeu des savoirs vivant dans différentes institutions à des situations d'apprentissages mettant en jeu des concepts de la discipline jugés utiles pour comprendre les situations ou débats de sociétés.

FIGURE 7

- **Repérer et savoir articuler les points de vue quotidiens et scientifiques sur l'énergie.**
- **Analyser d'un point de vue énergétique (stockage, transfert, transformation) une situation dans des domaines variés (vivant, technologique, industriel...); savoir utiliser la représentation symbolique "chaîne énergétique" à cet effet.**
- **Articuler les dénominations des sources d'énergie dans la vie courante et les formes de stockage en science.**
- Savoir reconnaître dans un document une source dite renouvelable et comprendre pourquoi elle ainsi dénommée.
- Connaître les manifestations observables correspondant aux transferts d'énergie et mener une analyse éventuellement quantitative pour prévoir une manifestation énergétique (faire un bilan d'énergie).
- Distinguer et articuler les concepts de puissance et d'énergie, aussi bien du point de vue de la langue que du point de vue mathématique et graphique.
- Par rapport à la fonction énergétique d'un appareil ou d'une situation, repérer le ou les transfert(s) utile(s) et ce qui est considéré comme des pertes. Savoir en déduire la valeur du rendement.
- **Distinguer, sur une notice, une facture ou une étiquette d'efficacité énergétique, ce qui relève de l'énergie de ce qui relève de la puissance.**

Principaux objectifs-compétences de la séquence «défi énergétique» (En gras figurent les objectifs pour lesquels l'articulation des savoirs entre les deux institutions Science et Société est explicite)

Les objectifs en gras dans la figure 7 mettent explicitement en jeu l'articulation des savoirs relevant de deux institutions Science et Société : l'articulation elle-même devient un objet d'apprentissage. Par exemple, l'élève doit au final être capable, non de rejeter l'expression "énergie électrique" utilisée dans la vie courante mais de l'interpréter en terme de transfert du point de vue de la physique et d'en percevoir les conséquences (impossibilité du stockage par exemple).

Cette volonté d'articuler à la fois les points de vue scientifique et "citoyen" et les théories-modèles et objets-événements, résultat concret de notre analyse préalable, est un moyen de faire vivre, aussi souvent que possible dans la classe, les deux enjeux (de société et d'apprentissage).

Échelle mésoscopique

Notons qu'en particulier à cette échelle, les choix de conception ont aussi été dictés par des expériences passées d'enseignement, dans des contextes moins "sociaux" (Gaidioz et al., 1998) : partir des idées des élèves sur l'énergie pour confronter les points de vue courant et faire de ces termes des objets de savoir scientifique, expliciter une phénoménologie de l'énergie, articuler les concepts dans un ordre particulier (*puissance* après *énergie* par exemple), caractériser l'énergie par ses propriétés de stockage, transferts et concentration (Tiberghien & Megalakaki, 1995). L'expérience professionnelle et l'analyse du savoir de la discipline permet alors de penser une chronologie d'introduction des concepts-clés et donc des situations qui vont les légitimer aux yeux des élèves.

Ces travaux passés ont été particulièrement utiles car leur enseignabilité et leur effet sur l'apprentissage ont été testés. Cependant, la mise en forme des activités, les

consignes, les situations et objets matériels d'étude, ont été davantage guidés par les savoirs de l'institution "Vie quotidienne" et par les enjeux de société, pour tenter de ne pas les perdre de vue ou de ne pas les contourner. Par exemple, l'énergie est d'abord caractérisée dans la progression par ses manifestations phénoménologiques (déplacement, changement de température, rayonnement...) en référence à certains objets quotidiens, et donc par sa propriété de transfert, puis plus tard par ses propriétés de stockage et de conservation (et par suite de changement de forme).

Dans la progression ci-dessous (figure 8), nous donnons les titres des chapitres et des activités, leur objectif explicite pour les élèves, les concepts convoqués et les situations matérielles d'étude. La plupart des activités résultent très clairement d'une prise en compte de l'objectif de "formation citoyenne" de la séquence. Elles n'auraient soit pas été présentes ou pas eu la même importance dans un contexte plus classique d'enseignement de la discipline pour elle-même, et comme nous l'avons déjà mentionné, la position finale de la conservation de l'énergie est une conséquence directe de la prise en charge des questions de société. Celles qui relèvent davantage d'un apprentissage de la discipline pour elle-même (elles auraient pu figurer dans une séquence classique) sont celles qui ne font pas appel à des concept-clés de la vie quotidienne (voir Figure 8). Les activités en gras sont données à titre indicatif en Annexe 2.

FIGURE 8

	Concepts-clés de la discipline	Concepts-clés de la vie quotidienne	Ressources matérielles
Chapitre 1 : Introduction à l'énergie Activité 1 - Vous avez dit énergie ? <i>Objectif : Prendre conscience de ce qu'on associe à l'énergie dans la vie courante</i>	Énergie	Énergie	
Activité 2 - Objets et énergie <i>Objectif : Classer des objets de la vie courante selon leur fonction vis-à-vis de l'énergie. Commencer à nommer et comprendre ces différentes fonctions.</i>	Stockage, transfert, mesure	Consommation, production, stockage	18 "objets" de la vie courante
Activité 3 - Événements et énergie <i>Objectif : Connaître les grandes catégories d'événements qui permettent "d'observer" les manifestations de l'énergie.</i>	Déplacement, changement de température, rayonnement	(Transports, chauffage, lumière, électricité)	
Chapitre 2 : Transferts d'énergie (Un "modèle de l'énergie" est distribué au début de ce chapitre)			
Activité 1 - Représentation des transferts et des transformateurs pour des appareils courants en fonctionnement <i>Objectif : commencer à représenter des morceaux de chaîne énergétique pour rendre compte des transferts, des stockages et des changements de forme d'énergie</i>	Transferts, transformateurs, chaînes énergétiques		Appareils courants.
Activité 2 - Un exemple de transfert : chauffer l'eau du thé ! <i>Objectif : Faire un bilan quantitatif de transformation d'énergie</i>	Transfert électrique, transfert thermique	Coût de l'énergie, chauffage électrique	Chauffer de l'eau avec une bouilloire, prévoir l'augmentation de température

FIGURE 8

	Concepts-clés de la discipline	Concepts-clés de la vie quotidienne	Ressources matérielles
Activité 3 - Transférer de l'énergie plus ou moins rapidement : énergie et puissance. <i>Objectif : Se donner les moyens de caractériser le lien entre énergie transférée et durée de transfert</i>	Énergie, puissance		Bouilloire électrique.
Activité 4 - Puissance et consommation d'une ampoule "basse-consommation" <i>Objectif : Utiliser le concept de puissance dans le cas d'une ampoule courante et faire un bilan d'énergie</i>	Puissance, énergie, rendement	Consommation, watt, éclairage	Emballage d'ampoules + ampoules.
Activité 5 - Estimation de la puissance développée par certains "objets" <i>Objectif : En classant différents objets selon leur puissance développée (l'énergie qu'ils "consomment" ou qu'ils transfèrent par unité de temps), avoir quelques idées sur les puissances dans la vie courante.</i>	Puissance		"objets" développant des puissances très variées.
Chapitre 3 : Sources d'énergie			
Activité 1 - Formes d'énergie en physique et sources d'énergie courantes <i>Objectif : Faire des liens entre la classification quotidienne des sources d'énergie et les différentes formes de stockage de l'énergie en physique.</i>	Réservoir, forme de stockage	Classification socio-économique des ressources d'énergie	
Activité 2 - Distinguer sources d'énergies primaires et vecteurs d'énergie <i>Objectif : Prendre conscience que certains dispositifs présentés comme des ressources d'avenir ne sont en fait que des moyens de stocker de l'énergie</i>	Différentes sortes de réservoirs	Dihydrogène, nouvelles ressources	Véhicule à hydrogène ou pile à combustible
Chapitre 4 : Conservation de l'énergie ; rendement			
Activité 1 - Le principe de conservation <i>Objectif : Comprendre et utiliser le principe de conservation de l'énergie</i>	Conservation		
Activité 2 - Importance du concept de rendement pour améliorer l'efficacité énergétique à tous les niveaux. <i>Objectif : Comprendre l'importance de la consommation de rendement, en particulier pour les économies d'énergie.</i>	Rendement, énergie utile, énergie dégradée	Pertes.	
Progression de la séquence en chapitres et activités			

Même si cela n'a pas été effectivement réalisé à l'issue de l'enseignement, nous faisons l'hypothèse que la séquence proposée pourrait contribuer à la prise en charge de débats par les élèves tels que ceux que nous proposons dans la figure 9 ci-dessous.

FIGURE 9

1	<ul style="list-style-type: none"> • « La voiture électrique est une voiture "propre" » <ul style="list-style-type: none"> ▶ « Sauf que j'ai vu que l'électricité était produite à partir de pétrole »
2	<ul style="list-style-type: none"> • « 80 % de l'énergie consommée en France est d'origine nucléaire » <ul style="list-style-type: none"> ▶ « non en fait c'est moins de 20 % »
3	<ul style="list-style-type: none"> • « Avec le Soleil on peut aussi facilement chauffer que faire de l'électricité » <ul style="list-style-type: none"> ▶ « Non, c'est facile de chauffer et plus difficile de faire de l'électricité »
4	<ul style="list-style-type: none"> • « Si on était plus économe en électricité, on résoudreait le problème énergétique » <ul style="list-style-type: none"> ▶ « ça ne suffirait pas du tout, l'électricité représente moins de 10 % de la consommation d'énergie »
Quelques dialogues virtuels autour de l'énergie	

La présentation sous forme de dialogue permet aux élèves d'une part de prendre position pour l'un ou l'autre des points de vue (ou aucun) mais en argumentant quelle

que soit la position adoptée. Ceci serait l'occasion de mettre à l'épreuve le transfert de connaissances finalement souhaité sur des enjeux de sociétés concernant l'énergie.

CONCLUSION

Face à l'évolution des curriculums vers une plus grande prise en compte de la compréhension des questions de société impliquant les savoirs scientifiques, les théories spécifiques sur la conception de ressources d'enseignement doivent s'adapter. À partir d'une théorie fondée sur le triangle Savoir – Enseignement – Apprentissage, et du cas des enjeux concernant l'énergie, nous avons proposé une théorie spécifique qui prend en compte le traitement de ces questions de société. Pour ce qui concerne les savoirs, cela conduit inévitablement à s'appuyer sur une théorie anthropologique pour les analyser, sans abandonner des théories qui fonctionnent sur l'enseignement et l'apprentissage plus classique de la discipline pour elle-même, en particulier autour de l'activité de modélisation en physique.

Cette analyse montre la complexité d'une conception de ressources qui doit tenir compte simultanément des deux enjeux, enjeu de société d'une part et enjeu d'apprentissage de la discipline d'autre part. Le long processus de transposition alors à l'œuvre ne doit pas négliger la cohérence des savoirs disciplinaires. Cependant cette cohérence n'est pas nécessairement celle interne à la discipline. La structure de la séquence d'enseignement mais également les situations d'étude doivent être cohérentes avec l'enjeu de société choisi ; ceci peut alors conduire à une structure largement modifiée par rapport à celle d'un enseignement visant seulement un apprentissage disciplinaire. À l'avenir, si l'on veut que les questions de société ne soient pas contournées mais réellement traitées lors des enseignements scientifiques, il est indispensable que tous les acteurs (concepteurs de programmes, formateurs, enseignants...) disposent de tels outils d'analyse et de conception.

RÉFÉRENCES

- Albe, V. (2009). *Enseigner des controverses* (Rennes: Presses Universitaires de Rennes).
- Bachelard, S. (1979). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre & M. Thellier (eds) *Elaboration et justification des modèles* (Paris: Maloine S.A), Vol. 1, 3-19.
- Bunge, M. (1973). *Method, model and matter* (Dordrecht-Holland.: D. Reidel publishing company).
- Chevallard, Y. (1991). Postface à la deuxième édition : didactique, anthropologie, mathématiques. In Y. Chevallard (ed.) *La transposition didactique* (Grenoble: La Pensée Sauvage), 199-223.
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R. & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9-13.

- diSessa, A. (2006). A history of conceptual change research: threads and fault lines. In K. Sawyer (ed.) *Cambridge handbook of the learning sciences* (Cambridge, UK: Cambridge University Press), 265-282.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science* (Buckingham: Open University Press).
- Duschl, R. A. & Grandy, R. (2008). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: framing the debates. In R. A. Duschl & R. Grandy (eds) *Teaching scientific inquiry* (Rotterdam: Sense publishers), 1-37.
- Edelson, D. C. (2002). Design research: what we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105-121.
- Feynman, R. (1980). *La nature de la physique* (Paris: Le Seuil).
- Gaidioz, P. & al., (1998). *Introduction à l'énergie. Contenus de l'enseignement et compléments didactiques* (Lyon: Centre Régional de Documentation Pédagogique).
- Gaidioz, P., Vince, J. & Tiberghien, A. (2004). Aider l'élève à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 866, 1029-1042.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining science. A cognitive approach* (Chicago: The University of Chicago Press).
- Hacking, I. (1983/2005). *Representing an intervening* (Cambridge: University Press Cambridge).
- Jancovici, J. M. & Grandjean, A. (2006). *Le plein s'il vous plait, la solution au problème de l'énergie* (Paris: Le Seuil).
- Jimenez-Aleixandre, M. P. & Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: an overview. In S. Erduran & M. P. Jimenez-Aleixandre (eds) *Argumentation in science education* (Dordrecht: Springer), 3-27.
- Kelly, G. J. (2011). Scientific literacy, discourse, and epistemic practices. In C. Linder, L. Ostman, D. A. Roberts, P.-O. Wickman, G. Erickson & A. MacKinnon (eds) *Exploring the landscape of scientific literacy* (New York: Routledge), 61-73.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated Learning. Legitimate peripheral participation* (Cambridge, UK: Cambridge University Press).
- Legardez, A. (2006). Enseigner les questions vives. Quelques points de repère. In A. Legardez & L. Simonneaux (eds) *L'école à l'épreuve de la réalité. Enseigner les questions vives* (Paris: ESF éditeur), 19-31.
- Legardez, A. & Alpe, Y. (2001). La construction des objets d'enseignement scolaire sur des questions socialement vives : problématisation, stratégies didactiques et circulations des savoirs. In *Actes du quatrième congrès AECSE Actualité de la recherche en éducation et formation* (Lille: AECSE).
- Méheut, M. & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- 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 août 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).

- Osborne, J. F., Erduran, S. & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argument in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Plantin, C. (1996). *L'argumentation* (Paris: Seuil).
- Roth, K. J., Druker, S. L., Garnier, H. E., Lemmens, M., Chen, C., Kawanaka, T., Rasmussen, D., Trubacova, S., Warvi, D., Okamoto, Y., Gonzales, P., Stigler, J. & Gallimore, R. (2006). *Teaching Science in five countries: results from the TIMSS 1999 Video Study Statistical Analysis Report (NCES 2006-011)* (Washington: U.S. Department of Education, National Center for Education Statistics), (Washington, DC: U.S. Government Printing Office).
- Roth, K. J., Garnier, H. E., Chen, C., Lemmens, M., Schwille, K. & Wickler, N. I. Z. (2011). Videobased lesson analysis: effective science PD for teacher and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(2), 117-148.
- Ruthven, K., Leach, J., Laborde, C. & Tiberghien, A. (2009). Design tools in didactical research: instrumenting the epistemological and cognitive aspects of the design of teaching sequences. *Educational Researcher*, 38(5), 329-342.
- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique* (Bruxelles: de Boeck).
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D. et al. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- The Design Based Research Collective. (2003). Design-based research: an emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- Tiberghien, 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.
- 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.
- Toulmin, S. E. (1958). *The uses of argument* (Cambridge: Cambridge University Press).
- Vygotski, L. S. (1934/1997). *Pensée et langage* (Paris: La Dispute).
- Wertsch, J. V. (1985). *Vygotsky and the social formation of mind* (Cambridge MA: Harvard University Press).

ANNEXE 1

Contenus et compétences exigibles des programmes de 1994 à 2011

En section littéraire

	1994 - Terminale L	2001 - 1 ^{ère} L ENJEUX PLANÉTAIRES ÉNERGÉTIQUES	2011 - 1 ^{ère} L-ES
Chapeau		<p>Enjeux planétaires énergétiques : il s'agit de présenter les principales sources de production d'énergie et de comparer leurs avantages et inconvénients respectifs, en particulier en termes de gestion des déchets (déchets nucléaires et rejets liés aux combustions de carburants) ; Ce thème permet de donner quelques éléments objectifs concernant la production et la consommation d'énergie dans le monde. On soulignera que les choix de société en cette matière comportent une évaluation, toujours incertaine, des risques attachés à chaque technique mise en œuvre et des effets à long terme, étant entendu qu'il n'y a pas de choix sans risque.</p>	<p>Le défi énergétique L'exercice de la responsabilité en matière de développement durable repose sur l'analyse des besoins et des contraintes et sur la recherche de solutions nouvelles à court, moyen ou long terme. Pour cela, les sciences expérimentales apportent leur contribution en permettant en particulier de comprendre qu'aucun développement ne sera durable s'il ne recherche, entre autres: -la disponibilité et la qualité des ressources naturelles; -la maîtrise des ressources énergétiques; -la gestion des aléas et risques naturels et/ou industriels; -l'optimisation de la gestion de l'énergie.</p>
Contenus	<p>I. L'énergie et sa conservation : - énergie mécanique et énergie électrique : transformations mutuelles - production de chaleur à partir d'énergie mécanique ou électrique, la transformation inverse, sa limitation ; - énergie et masse : relation d'Einstein. Énergie nucléaire : fission, fusion ; - source d'énergies utilisables sur la Terre ; ordre de grandeur. II. Chimie et énergie : I. Réactions chimiques et énergie thermique. - Combustion des alcanes - Applications : utilisation de la chaleur dégagée, chauffage chalumeau. 2. Réactions chimiques et énergie électrique : - utilisation de l'énergie électrique pour réaliser une réaction chimique : l'électrolyse. Applications industrielles ; - utilisation d'une réaction chimique pour obtenir de l'énergie électrique : principe d'une pile. Exemples.</p>	<p>Les énergies fossiles et la pollution atmosphérique Ressources énergétiques ; sources d'énergie fossile Les produits de combustion du gaz naturel, du bois, du charbon, du fuel, de l'essence Les principaux polluants atmosphériques : origine, effets, remèdes. Production d'énergie électrique dans une centrale Sources de champ magnétique, lignes de champ. Principe de l'alternateur. Sources énergétiques, transformations énergétiques, les différentes formes d'énergie. Sécurité dans les centrales nucléaires et gestion des déchets Composition du noyau, isotopes, notion de fission. Effets biologiques de la radioactivité, radioprotection. Radioactivité ; courbe de décroissance radioactive, période. Gestion des déchets radioactifs et la sécurité des centrales.</p>	<p>Activités humaines et besoins en énergie Besoins énergétiques engendrés par les activités humaines: industries, transports, usages domestiques. Quantification de ces besoins: puissance, énergie Utilisation des ressources énergétiques disponibles Ressources énergétiques et durées caractéristiques associées (durée de formation et durée estimée d'exploitation des réserves). Ressources non renouvelables: - fossiles (charbon, pétroles et gaz naturels); - fissiles (Uranium: isotopes, isotope fissile). Ressources renouvelables. Le soleil, source de rayonnement. Conversion d'énergie Centrale électrique thermique à combustible fossile ou nucléaire. Réaction de combustion. Réaction de fission. Réaction de fusion. Le Soleil, siège de réactions de fusion nucléaire. Exploitation des ressources renouvelables. Optimisation de la gestion et de l'utilisation de l'énergie Transport et stockage de l'énergie. Accumulateur électrochimique et pile à combustible. Sous-produits de l'industrie nucléaire. Décroissance radioactive. Effet de serre</p>
	BOEN numéro hors série du 24 septembre 1992	BOEN HS No7 du 31 août 2000 + note de service No 2002-107 du 30-4-2002 pour les compétences	BO spécial no 9 du 30 septembre 2010

ANNEXE 1

Contenus et compétences exigibles des programmes de 1994 à 2011

En section scientifique

	1994 - 1ère S	2001 - 1ère S	2011 - 1ère S
Contenus	<p>Le principe de conservation est énoncé dès le premier alinéa consacré à l'énergie. Les différentes formes d'énergie (cinétique et potentielle) sont évoquées ensuite ainsi que les aspects macroscopique et microscopique. Les différents modes de transfert d'énergie sont décrits également d'emblée. Cette partie se termine par l'analyse d'une ou deux chaînes énergétiques. Diverses situations sont ensuite analysées selon le principe de conservation.</p> <p>Partie 3. Bilan énergétique :</p> <p>3.1 Systèmes mécaniques</p> <p>3.2 Systèmes électriques (Générateurs et récepteurs. Puissance électrique. Effet Joule. Rendement d'un moteur électrique)</p> <p>3.3 Énergie nucléaire</p>	<p>Le bloc "énergie" propose une progression force/travail/énergie qui part des notions les plus intuitives - celles de force et de travail - pour construire les différentes formes d'énergie, jusqu'à l'énergie interne. En fin de partie sont dégagées les notions de transfert ordonné et transfert désordonné (transfert thermique) d'énergie.</p> <p>Objectifs</p> <p>Le but est d'introduire une grandeur fondamentale, l'énergie, dont la conservation constitue une des lois les plus générales de la physique et constitue le guide sous-jacent à la progression. Différentes formes d'énergie sont introduites à partir de la notion du travail d'une force, tout en montrant que selon les situations, ces différentes formes sont susceptibles de se transformer les unes dans les autres. L'objectif est ainsi de progresser vers l'idée de conservation. Enfin pour illustrer le fait que le travail n'est pas le seul mode de transfert d'énergie, on termine cette introduction par quelques considérations simples sur le transfert thermique, en évitant la confusion entre chaleur et température.</p> <p>La conclusion de l'analyse présentée dans le chapitre s'exprimera sous la forme suivante :</p> <p>Y tout système dans un état donné, on peut associer une grandeur appelée "énergie". Si l'énergie d'un système augmente ou diminue, c'est qu'il a reçu ou cédé de l'énergie, que ce soit par travail, par transfert thermique ou par rayonnement.</p>	<p>Formes et principe de conservation de l'énergie</p> <p>Énergie d'un point matériel en mouvement dans le champ de pesanteur uniforme : énergie cinétique, énergie potentielle de pesanteur, conservation ou non conservation de l'énergie mécanique. Frottements ; transferts thermiques ; dissipation d'énergie.</p> <p>Formes d'énergie</p> <p>Principe de conservation de l'énergie. Application à la découverte du neutrino dans la désintégration π.</p> <p>AGIR</p> <p>Défis du XXIème siècle</p> <p>En quoi la science permet-elle de répondre aux défis rencontrés par l'Homme dans sa volonté de développement tout en préservant la planète ?</p> <p>Convertir l'énergie et économiser les ressources</p> <p>Ressources énergétiques renouvelables ou non ; durées caractéristiques associées.</p> <p>Transport et stockage de l'énergie ; énergie électrique.</p> <p>Production de l'énergie électrique ; puissance.</p> <p>Conversion d'énergie dans un générateur, un récepteur.</p> <p>Loi d'Ohm. Effet Joule.</p> <p>Notion de rendement de conversion.</p>
	BOEN numéro hors série du 24 septembre 1992	BOEN HS No7 du 31 août 2000 + note de service No2002-107 du 30-4-2002 pour les compétences	BO spécial no 9 du 30 septembre 2010

ANNEXE 2

TEXTES de quelques activités

Chapitre 1

Activité 2 - Objets et énergie

But : Classer des objets de la vie courante selon leur fonction vis-à-vis de l'énergie. Commencer à nommer et comprendre ces différentes fonctions.

On dispose de 18 cartes sur lesquelles on a représenté des objets plus ou moins courants. On dispose de certains de ces objets dans la classe afin de les utiliser éventuellement.

On peut attribuer à tous ces objets une ou plusieurs fonctions vis-à-vis de l'énergie. C'est ce qu'on se propose de faire dans cette activité.

Vous disposez pour ceci d'autant d'étiquettes que vous voulez, de cinq types différents (cf ci-contre, une couleur par type d'étiquette). Vous devez coller une ou plusieurs étiquettes sur chaque carte, après vous être mis d'accord avec votre voisin. Chaque pointillé doit être complété une fois l'étiquette collée. Vous pouvez aussi utiliser des étiquettes vierges que vous complétez si vous trouvez qu'il en manque.

Produit de l'énergie
Consomme de l'énergie
Transforme en
Stocke de l'énergie
Mesure l'énergie

Chapitre 2

Activité 4 - Puissance et consommation d'une ampoule "basse consommation"

But : Utiliser le concept de puissance dans le cas d'une ampoule courante.

Une ampoule transfère de l'énergie à la fois par chaleur et par rayonnement.

1. Faire le morceau de chaîne énergétique qui décrit une ampoule en fonctionnement.
2. A votre avis, la puissance indiquée sur l'ampoule caractérise quel transfert ?
3. Proposer une expérience qui permettrait de vérifier votre hypothèse.
4. Commenter alors le genre d'étiquette ci-contre qu'on trouve sur certains emballages d'ampoules.
5. Calculer l'énergie consommée pendant toute la durée de fonctionnement de l'ampoule dite "basse-consommation" et l'économie faite durant ce fonctionnement par rapport à l'autre ampoule plus "consommatrice". On calculera l'économie en euros avec un kWh à 11 centimes.

