

Pourquoi n'est-il pas pertinent de faire de l'énergie électrique un concept de physique dans un programme d'enseignement ?

Une contribution pour l'évolution de la thématique « L'énergie et ses conversions » du projet de programme du cycle 4

par Jacques VINCE

Lycée Ampère - 69002 Lyon

jvince@ac-lyon.fr

et André TIBERGHEN

UMR ICAR - Université de Lyon 2 - 69007 Lyon

andree.tiberghien@ens-lyon.fr

LES PROJETS de programmes des cycles 3 et 4 font de façon pertinente une large place à l'énergie. Mais comme d'autres programmes avant eux (y compris dans les actuels programmes de lycée), ils proposent de mettre sur le même plan des formes d'énergie et des modes de transferts, en faisant par exemple de l'énergie électrique un concept essentiel. Ce choix entretient la confusion entre énergie et électricité largement répandue dans nos sociétés. Cette contribution propose, à partir d'une caractérisation de l'énergie pensée pour l'enseignement, de distinguer explicitement formes d'énergie et modes de transfert, ce qui conduit à proscrire, au moins pour l'enseignement élémentaire, des expressions comme énergie électrique ou énergie lumineuse. Cette distinction entre formes d'énergie et transferts d'énergie, intimement liée à la propriété de conservation, est essentielle pour comprendre les enjeux de sociétés actuels autour de l'énergie.

1. CONTOURS D'UNE DÉFINITION DE L'ÉNERGIE POUR L'ENSEIGNEMENT...

Les projets de programme des cycles 3 et 4 laissent une large place à l'énergie et nous nous en félicitons. Cependant, comme pour de précédents programmes d'enseignement de physique élémentaire, le concept d'énergie électrique figure en bonne place parmi les formes d'énergie censées faire l'objet d'un enseignement en physique.

Ceci est pour le moins surprenant et regrettable, pas seulement parce qu'un tel choix a été largement questionné ou critiqué par la recherche en didactique [1-2], mais d'abord parce que cette notion contribue à confondre formes d'énergie stockée et transferts d'énergie. Or cette distinction est fondamentale aussi bien pour comprendre la physique que pour appréhender les enjeux du « défi énergétique » auxquelles les sociétés actuelles, à l'échelle mondiale, ont à faire face.

L'énergie présente ce paradoxe :

1. C'est un concept de physique des plus abstraits au sens où il n'est défini que par sa propriété de conservation pour un système isolé. Certes, comme tout concept, l'énergie n'est pas « visible ». Mais contrairement à d'autres concepts (comme la vitesse par exemple), il ne peut pas être associé facilement à une observation. Ce qui est observable est le *transfert* d'énergie, mais l'énergie stockée ne l'est pas. L'énergie a aussi cette remarquable propriété de concerner de vastes domaines de phénomènes, domaines souvent séparés dans l'enseignement de la physique. Son enseignement est donc pertinent pour « faire lien » entre différents domaines et décloisonner des sujets « de physique » souvent enseignés séparément.
2. C'est un concept utilisé dans bien d'autres sphères que celle de la physique. Le terme est utilisé dans le domaine économique, en Sciences de la vie et de la Terre (SVT), en géographie, en technologie, en géopolitique... Et de nombreuses expressions de la vie courante illustrent à quel point le terme est déjà fonctionnel pour des élèves de début de collège : *je n'ai plus d'énergie, ça consomme trop d'énergie, il n'y a plus assez d'énergie dans le monde...* Dans la vie courante, l'énergie est *consommée, produite, payée, peut disparaître...* autant d'usages qu'il ne faut pas nier, qui ont une signification utile dans certains contextes, mais qui semblent télescoper fortement les usages en sciences si le passage d'un contexte courant au contexte scientifique n'est pas explicitement pris en charge. Ceci peut être source d'incompréhension et d'arbitraire pour les élèves alors que le passage d'un contexte à un autre est accessible aux élèves du cycle 4 si on est vigilant sur certains points et si on en fait un enjeu d'apprentissage explicite.

Même si les manifestations observables de l'énergie concernent seulement les transferts d'énergie (ça chauffe, ça bouge, ça brille, il y a de l'électricité...), il nous semble essentiel d'assumer de définir l'énergie par ses trois propriétés : *conservation, stockage, transfert*. C'est d'ailleurs ce que fait de façon pertinente le programme du cycle 3, même si le terme *transport* a été préféré à *transfert* (le transfert d'énergie peut se faire localement sans transport au sens courant du terme, c'est pourquoi le terme transfert nous semble préférable).

Cette définition à l'aide de trois propriétés vaut pour l'enseignement au niveau du collège et du lycée où l'énergie ne peut être abordée de manière abstraite et quantitative comme dans le savoir savant qui met en avant la seule propriété de conservation (voir Feynman par exemple). La conservation n'a pas à être découverte expérimentalement puisqu'elle est fondatrice du concept d'énergie. Ainsi faire observer aux élèves que la somme d'une énergie cinétique et d'une énergie potentielle est constante peut être utile, mais, au lieu de généraliser ce résultat pseudo-expérimental comme une loi phénoménologique, il faudrait en conclure que l'énergie cinétique a été définie pour que ce soit le cas (même si dans ce cas précis l'utilisation de la deuxième loi de Newton

permet de prévoir l'expression de l'énergie cinétique pour trouver la grandeur qui se conserve... mais pas au niveau du collège) !

Les trois propriétés fondamentales de l'énergie constituent en quelque sorte un «Modèle de l'énergie» qui peut servir de référence aux élèves. La propriété de *conservation* n'est pas la plus fonctionnelle pour interpréter des situations matérielles, mais elle induit d'autres propriétés par lesquelles il est sans doute souhaitable de commencer : le *stockage* et le *transfert*. Une énergie peut certes changer de forme au sein d'un même système isolé, mais elle peut aussi changer de forme d'un système à un autre : il est alors nécessaire de la transférer et de disposer de convertisseurs qui reçoivent l'énergie par un ou plusieurs modes de transfert et la fournissent par un ou plusieurs modes également. La fonction de *conversion* ne devant pas être confondue avec la fonction de *stockage*, tout ce que reçoit un convertisseur est entièrement redonné.

La *chaîne énergétique* est un moyen de rendre opératoire ce modèle énergétique sur les situations étudiées : nous nous réjouissons qu'elle soit explicitement mentionnée dans le projet de programme du cycle 3, même si cela nous paraît ambitieux, mais elle nous semble avoir sa place également dans le programme du cycle 4.

Chaque élément de la chaîne représente une propriété (un réservoir stocke, une flèche représente le transfert, le convertisseur représente le changement de mode de transfert donc la conversion), l'ensemble de la chaîne rendant compte de la conservation.

Il convient d'assumer que la chaîne énergétique est une représentation spécifique qui n'a qu'une finalité pédagogique. Ce n'est pas un mode de représentation que le physicien utilise. Il peut être important de le présenter ainsi aux élèves : ce mode de représentation est construit *pour* l'apprentissage, c'est une aide à la compréhension et à la description des situations d'un point de vue énergétique. Encore faudrait-il sans doute donner quelques clés de représentation et de signification pour les éléments de cette chaîne, surtout dans une logique pluridisciplinaire (cycle 3) : les chaînes énergétiques en physique, SVT ou technologie utilisent-elles les mêmes codes et significations ? Ceci ne nous semble pas assuré. Il serait donc pertinent que l'institution scolaire norme les types de représentations à adopter. Par exemple un rectangle pour un réservoir, un cercle pour un convertisseur, les transferts étant indiqués par des flèches orientées et légendées avec le type de transfert (électrique, mécanique, thermique, par rayonnement). Les expressions *transfert électrique*, *transfert par rayonnement*, *transfert thermique* peuvent être avantageusement remplacées respectivement par *électricité*, *rayonnement* (ou même *lumière* dans un premier temps), *chaleur*. Ce qui peut par exemple donner la chaîne suivante pour décrire la situation élémentaire d'une ampoule alimentée par une pile (le réservoir final permet de respecter la conservation de l'énergie, mais on peut petit à petit s'en

affranchir pour ne pas surcharger les chaînes) (cf. figure 1).

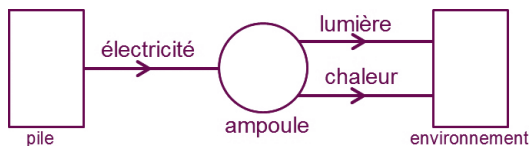


Figure 1

2. AU SUJET DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE...

Proscrire l'usage de l'expression « énergie électrique » assure cohérence et lisibilité quant à la distinction entre forme d'énergie (stockée) et transfert d'énergie (par définition non stockable). L'expression figure pourtant dans le projet de programme et on peut le regretter. C'est le signe d'une superposition langage courant / langage scientifique qui peut créer de la difficulté chez l'élève et conduire à faire confondre énergie et électricité, confusion courante et observable jusque dans les propos de candidats à l'élection présidentielle...

Si l'on veut marquer la distinction entre stockage et transfert, l'énergie ne peut pas être stockée sous cette forme. L'électricité reste un mode de transfert et le (faible) stockage d'énergie grâce à la séparation de charges ne doit pas, dans ces conditions, être désigné par de l'énergie *électrique*, mais bien *électrostatique* (adjectif qui a l'avantage d'indiquer des charges immobiles alors que l'électricité implique une circulation de charges). Dans les accumulateurs, ce n'est pas non plus de l'énergie électrique qui est stockée, mais de l'énergie chimique, l'électricité n'ayant servi que de transfert. Évidemment, le physicien (ou la plupart des enseignants) n'est pas choqué par cette expression puisqu'il y voit immédiatement l'énergie transférée par l'électricité ; mais l'élève ne peut pas avoir cette maîtrise.

Nous préconisons donc de réserver les adjectifs accolés à « énergie » à ce qui désigne des *sources* (le référent matériel) ou des *formes d'énergie stockée* (plus conceptuelles), sans confondre les deux catégories (voir plus bas). Si l'on utilise l'expression *énergie électrique*, comment comprendre alors que l'électricité (ou l'énergie transférée par transfert électrique) ne peut pas être stockée ? C'est pourtant un élément essentiel de la culture commune au sujet de l'énergie. En physique, s'il y a bien de l'énergie dans les conducteurs électriques, l'électricité n'est qu'un mode de transfert de l'énergie. Évidemment, dans la vie de tous les jours, journalistes, économistes et politiques peuvent mentionner la production ou la consommation d'énergie électrique : traduire ces expressions dans les termes de la physique en renvoyant à la forme d'énergie stockée et la forme du transfert (et les unités et instruments de mesure associés), pour comprendre les phénomènes en jeu, nous semble être un enjeu majeur de l'apprentissage

élémentaire sur l'énergie. Il n'est pas question pour nous de cacher aux élèves, *in fine*, l'usage de cette expression dans la vie courante : l'objectif est de permettre à l'élève de comprendre qu'elle désigne, par commodité, l'énergie transférée grâce à l'électricité. Le raisonnement précédent vaut d'ailleurs également pour l'énergie dite lumineuse, non stockable, mais seulement transférée...

La carte proposée ci-dessous (cf. figure 2) permet de visualiser l'ensemble des concepts en jeu lors d'une séquence proposée pour l'actuel programme de première scientifique, ainsi que la complexité, mais aussi la richesse des relations à établir entre eux. Elle pourrait être adaptée pour le programme du cycle 4 pour permettre au professeur d'avoir une vue d'ensemble du programme sur cette partie.

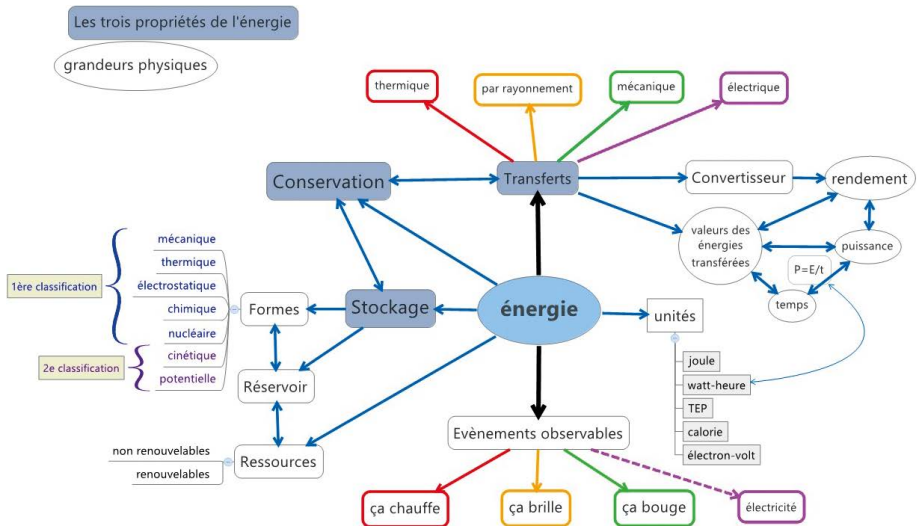


Figure 2

3. AU SUJET DE LA CLASSIFICATION DES FORMES D'ÉNERGIE... ET DES (RES)SOURCES D'ÉNERGIE

Les classifications de l'énergie sont nombreuses : variées selon les domaines d'activités, elles peuvent également être diverses en physique.

En physique, il nous semble qu'une classification juxtaposant les adjectifs *cinétique*, *potentielle*, *chimique*, *nucléaire* et *interne* (nous avons enlevé *électrique*, mais on pourrait ajouter *électrostatique*...) n'est pas tout à fait homogène, ou nécessite au moins un peu d'explications. Il convient d'abord de préciser qu'on parle ici d'énergies macroscopiques (même si l'énergie interne résulte de contributions microscopiques, mais il est

raisonnable au collège de ne pas entrer dans ce débat). À ce stade, le mot *interne* pourrait être avantagement remplacé par le mot *thermique*, même si c'est une approximation. Le terme *thermique* est d'ailleurs le seul pouvant être utilisé à la fois pour une forme d'énergie et pour un mode de transfert, ce qui peut être source de difficultés. Si on reste au niveau macroscopique, on peut alors spécifier que l'énergie *mécanique* est pour partie *cinétique* et pour partie *potentielle*.

		Formes d'énergie				
		Mécanique	Thermique	Électrostatique	Chimique	Nucléaire
Ressources...	...non renouvelables					
	Pétrole, charbon, gaz naturel (ressource fossile)				x	
	Uranium (ressource nucléaire)					x
	...renouvelables					
	Vent (ressource éolienne)	x				
	Biomasse (ressource de la biomasse)				x	
	Terre (ressource géothermique)		x			
	Soleil (ressource solaire)		x			x
	Eau retenue (ressource hydraulique)	x				
	Eau en déplacement (ressource hydraulique)	x				
Marées (ressource marémotrice)	x					

Tableau 1

Le projet de programme du cycle 3 propose fort justement d'aborder les sources d'énergie, renvoyant à des objets ou des phénomènes (le vent par exemple) : le terme *ressource* serait d'ailleurs peut-être moins ambigu. Pour ne pas qu'elles soient confondues avec les formes d'énergie (abstraites), c'est la *distinction* des formes d'énergie et des sources d'énergie qui doit aussi pouvoir faire dès le collège l'objet d'un apprentissage. Elle permet d'éviter la confusion entre le référent matériel ou événementiel, qui stocke l'énergie, et la forme d'énergie. Les deux ensembles d'adjectifs caractérisant les formes d'une part et les sources d'autre part ne sont pas les mêmes. Leur mise en lien est nécessaire pour construire du sens et pour pouvoir utiliser de façon adéquate un savoir scientifique pour décrire et interpréter des situations énergétiques du monde qui nous entoure. Nous fournissons (cf. tableau 1, page ci-contre) un exemple d'un tel croisement (on pourrait aussi spécifier si l'énergie mécanique est cinétique ou potentielle).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.Vince et A.Tiberghien A. « Enseigner l'énergie en physique à partir de la question sociale du défi énergétique », *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6(1), p. 89-124, 2012.
- [2] L. Morge et C. Buty, *L'énergie : vers des recherches plurididactiques*, RDST, n° 10, p. 9-34, 2014.



Jacques VINCE

Chargé de mission auprès du Bureau national de l'UdPPC, en charge du suivi des réformes

Professeur de sciences physiques

Lycée Ampère

Lyon (Rhône)



Andrée TIBERGHIE

Directrice de recherche émérite

CNRS en didactique de la physique

Laboratoire ICAR-UMR5191

Université Lyon 2

Lyon (Rhône)