



**RDST**

Recherches en didactique des sciences et des technologies

**10 | 2014**  
**Énergies**

---

## L'énergie : vers des recherches plurididactiques

*Energy: towards pluri-didactical research*

**Ludovic Morge et Christian Buty**

---



**Édition électronique**

URL : <http://rdst.revues.org/916>

ISSN : 2271-5649

**Éditeur**

ENS Éditions

**Édition imprimée**

Date de publication : 31 décembre 2014

Pagination : 9-34

ISBN : 978-2-84788-508-8

ISSN : 2110-6460

**Référence électronique**

Ludovic Morge et Christian Buty, « L'énergie : vers des recherches plurididactiques », *RDST* [En ligne], 10 | 2014, mis en ligne le 31 décembre 2014, consulté le 21 mars 2017. URL : <http://rdst.revues.org/916>

---

# L'énergie : vers des recherches plurididactiques

**Ludovic MORGE**

Université Blaise-Pascal, Clermont-université, ESPE Clermont Auvergne,  
laboratoire ACTé

**Christian BUTY**

Université Lyon 2 – ENS de Lyon – Université Jean Monnet Saint-Etienne,  
laboratoire ECP

---

**RÉSUMÉ** • La première partie de cet article vise à balayer les différents champs de recherches explorés actuellement par les chercheurs en didactique de sciences et des technologies autour du concept d'énergie (réflexions épistémologiques et historiques, analyse des curricula, pratiques des enseignants, apprentissage, énergie dans les autres disciplines, questions sociétales). Ce tour d'horizon des champs de recherches permet de mettre au jour le très faible nombre d'études qui considèrent d'emblée le concept scolaire d'énergie comme un concept pouvant être potentiellement construit de manière cohérente à travers plusieurs disciplines. La deuxième partie de cet article explore donc les pistes de recherches qui pourraient être développées dans cette direction tout en postulant une approche plurididactique, c'est-à-dire une approche dans laquelle les contraintes et spécificités des approches didactiques des différentes disciplines sont respectées. L'objectif n'est plus alors de pointer les différences entre les approches du concept d'énergie dans les disciplines scolaires pour aider les élèves à repérer ces différences, mais bien de viser une construction cohérente de ce concept dans plusieurs disciplines simultanément.

**MOTS-CLÉS** • énergie, disciplines scolaire, pluridisciplinarité, didactiques

---

**ABSTRACT** • Energy: towards pluri-didactical research

The first part of this article aims at exploring various fields of science education research about the concept of energy (epistemological and historical points of view, curriculum analysis, teaching practices, learning, energy in several disciplines, social insights). This panorama of research fields shows the very small number of studies that consider from the beginning the concept of energy as being potentially constructed in school, in a coherent manner, through several disciplines. Consequently, the second part of this article explores some research directions, which could be developed in this line, choosing a pluri-didactical

approach that is, an approach where the constraints and specificities of didactical processes in each different discipline could be respected. The objective is not, in such a perspective, to check the differences between various understandings of the concept of energy, in order to help students to be aware of these differences, but in the contrary to aim at a coherent construction of this concept in several disciplines simultaneously.

**KEYWORDS** • energy, classroom discipline, pluridisciplinary, approach, didactics

---

*Nous souhaitons remercier Rémi Cadet, maître de conférence en physiologie animale, Université Blaise-Pascal; Frédéric Dana, agrégé en géographie, formateur en histoire et géographie à l'ESPE Clermont-Auvergne; Christian Orange, didacticien de la biologie, Université libre de Bruxelles, pour les échanges fructueux concernant la question de l'enseignement de l'énergie.*

## Introduction

Notion protéiforme qui intervient dans tous les aspects de la vie sociale, l'énergie a vu son enseignement modifié par les changements de programme des lycées intervenus en France depuis la rentrée 2010 ; c'est pourquoi le comité de rédaction de la revue RDST a jugé bon de faire le point sur la recherche en didactique des sciences sur l'enseignement et l'apprentissage de ce concept dans la sphère francophone.

Les articles publiés dans ce numéro portent la trace de ce contexte particulier, puisque deux d'entre eux s'intéressent aux questions curriculaires. L'ordre de présentation des articles dans le dossier lui-même respecte la logique suivante : d'abord une référence à l'histoire des sciences pour dégager quelques traits importants du concept d'énergie, à partir des conditions de son émergence ; puis les deux articles d'analyse des nouveaux programmes, soit dans leur généralité, soit sur un aspect particulier ; enfin des analyses de pratiques ordinaires d'enseignement du concept d'énergie.

Nous avons choisi de présenter ces quatre articles non pas isolément, mais en les positionnant dans un choix forcément limité de la littérature internationale récente sur la question de l'enseignement de l'énergie. Les quelques articles que nous avons sélectionnés nous semblent apporter des ouvertures intéressantes. Ils portent essentiellement sur des points absents du dossier : par exemple l'enseignement de l'énergie dans d'autres contextes disciplinaires que la physique ; ou bien l'étude des apprentissages effectivement réalisés lors de séances ou de séquences consacrées à l'énergie. Il ne s'agit pas dans cette première partie de prétendre à une revue de littérature exhaustive mais plutôt de balayer les principaux champs de recherches relatifs au concept d'énergie.

## 1. Questions didactiques à propos de l'énergie

Cette première partie vise à mettre au jour les champs de recherches actuels relatifs au concept d'énergie. Cinq champs de recherches complémentaires ont ainsi pu être repérés. Les recherches portant sur le développement du concept d'énergie d'un point de vue historique et épistémologique permettent de poser un regard critique sur les curriculums prescrits et contribuent à mieux comprendre également les difficultés des élèves et ce dans différentes disciplines scolaires ainsi que dans la dimension sociétale du concept. Ces éléments servent à leur tour à mieux appréhender l'analyse ou la conception ou l'évaluation de séquences d'enseignement.

### 1.1. Épistémologie et histoire du développement du concept d'énergie

Il faut d'abord mentionner à cet égard le numéro thématique de *Science & Education* (paru en juin 2014) sur la conservation de l'énergie. Il est coordonné par Fabio Bevilacqua (université de Pavie), qui signe l'article éditorial. Dans ce texte, Bevilacqua ne se contente pas de présenter les différents articles du numéro ; il offre une synthèse succincte mais brillante sur les débats philosophiques et épistémologiques qui ont accompagné le développement historique du concept d'énergie et de son principe de conservation. Une partie de ces éléments se retrouvent dans le premier article de notre numéro, mais sous un angle légèrement différent. On notera particulièrement, dans le travail de Bevilacqua, une fine analyse des développements de Leibnitz sur la «force vive» et sur la conservation de l'énergie (ou ce que l'on appellera plus tard ainsi). Les apports de Helmholtz sont également fortement mis en lumière. On appréciera aussi les éclairages sur les irrptions de l'énergie en économie (à partir des travaux de Gibbs sur l'équilibre chimique) et en psychologie et psychanalyse : Brücke, collègue de Helmholtz, a défendu (1874) l'idée que l'énergie s'applique aussi bien au domaine du vivant qu'au monde inanimé (une question posée dans le test mis au point par Chabalengula, Sanders et Mumba [2012] dont nous parlons ci-dessous) ; Brücke a travaillé avec Freud, et l'a influencé. Enfin, les propositions de Bevilacqua sur les conséquences didactiques de ses analyses philosophiques, épistémologiques et historiques, pour concises qu'elles soient, sont des points de départ stimulants.

L'article de Guedj et Mayrargue (2014), «Éclairages historiques sur l'émergence du concept d'énergie», dans ce numéro, repose sur l'hypothèse, avancée par tout un courant de recherche, suivant laquelle un éclairage historique de l'émergence d'un concept peut favoriser son apprentissage dans un cadre scolaire ; cela va aussi dans le sens des préconisations officielles. Dans le cas de l'énergie, on peut dire que la caractéristique principale de la grandeur physique en construction a été dégagée historiquement avant la nature de la grandeur elle-même : on a cherché à définir – initialement pour des raisons métaphysiques – un invariant, quelque chose qui se conserve ; mais quoi ? Le «mouvement» (pour Descartes), la «force (motrice)» (pour Leibnitz), la chaleur (pour Black), le calorique (pour Lavoisier) ? Beaucoup d'hésitations

et de débats ont agité les physiciens, qui ont culminé dans les doutes exprimés par Sadi Carnot, dans l'ouvrage même où il ouvrait la voie à la thermodynamique industrielle. La comparaison faite par l'article entre cet ouvrage, paru en 1824, et les notes privées écrites à la même époque mais publiées à titre posthume cinquante ans plus tard, est révélatrice des difficultés éprouvées. Le plus important dans cette étape des *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* est peut-être qu'elle introduit l'idée que quelque chose se conserve, mais que ce quelque chose peut changer de forme, et ce, fondamentalement, parce que la chaleur est du mouvement. Se dégagent ainsi la notion de travail, puis, grâce aux recherches de Thompson, celle d'énergie mécanique.

À partir du concept lui-même, une deuxième étape porte logiquement sur l'analyse des curriculums et des contenus d'enseignement. C'est le règne de la transposition.

### **1.2. La transposition du concept d'énergie**

L'article de Bächtold, Munier, Guedj, Lerouge et Ranquet (2014), «Quelle progression dans l'enseignement de l'énergie de l'école au lycée?», dans ce numéro, se présente explicitement comme «une analyse des programmes et des manuels». Comme l'indique le titre, cette analyse est orientée par une hypothèse d'apprentissage : une stratégie didactique de construction progressive d'un concept sur plusieurs années est nécessaire pour une grandeur aussi complexe que l'énergie, *a fortiori* pour une notion également liée à des questions sociétales. Cette hypothèse est issue de plusieurs travaux de recherche sur l'apprentissage de la notion d'énergie, et c'est à leur lumière que sont analysées les prescriptions curriculaires de son enseignement en physique en France, dans les nouveaux programmes. Le constat de départ est la polysémie du terme «énergie», induisant un écart entre ce que les élèves entendent dans la vie quotidienne ou dans les médias, et ce qu'ils entendent dans le cadre scolaire. Mais la notion purement scolaire soulève aussi de nombreuses difficultés ; les auteurs pointent notamment la confusion entre transformation et transfert d'énergie, ou bien la variété des prérequis nécessaires à la compréhension de la conservation de l'énergie. Après une synthèse de la littérature sur les progressions possibles d'un enseignement de l'énergie, les auteurs proposent une grille d'analyse des programmes et manuels comportant cinq dimensions, dont la place du principe de conservation, de la relation transformation/transfert, des questions sociétales. Ils appliquent cette grille aux programmes de l'école primaire, du collège, du lycée, en physique-chimie, ainsi qu'à une sélection de manuels. De cette analyse, détaillée et nuancée, il semble ressortir que la construction du principe de conservation de l'énergie est assez bien assurée de l'école à la 1<sup>re</sup> S ; mais d'autres aspects, telles l'opposition transformation/transfert, ou la conception substantialiste de l'énergie, semblent constituer des impensés de la transposition ; ce qui peut créer des difficultés quand, dans le même temps, on veut faire en sorte que les élèves s'approprient les questions sociétales liées à l'énergie. En tous cas, l'analyse met en relief des questions sur lesquelles des recherches devraient être menées.

L'article de Bächtold, « L'équation  $E_{\text{libérée}} = |\Delta m| c^2$  dans le nouveau programme et les nouveaux manuels de Première S », se livre au même type d'analyse curriculaire, mais sur un objet bien plus délimité, dans son contenu et dans son niveau d'enseignement. Il porte en effet sur la partie du programme de 1<sup>re</sup> S consacrée à la relation entre la variation de masse et l'énergie libérée constatées lors d'une transformation nucléaire. Bien que cela puisse apparaître comme un aspect particulier de l'enseignement de l'énergie, le fait que ce contenu ait été déplacé de la terminale à la première S indique, selon l'auteur, une volonté globale des concepteurs des programmes de mettre en exergue l'effet unificateur du concept d'énergie et de sa conservation, en regroupant les enseignements concernant l'énergie en physique au lycée dans un seul niveau, celui donc de la 1<sup>re</sup>. Dans un premier temps, l'auteur pointe les nombreuses difficultés d'interprétation que cette équation a posées aux physiciens eux-mêmes. Ce faisant, il soulève les risques que la transposition didactique fait courir aux concepts associés aux grandeurs – masse et énergie – qui sont liées par cette équation ; cette analyse s'appuie sur une analyse des principaux manuels utilisés à ce niveau.

Si on dépasse le cadre du système éducatif français, dans le contexte éducatif anglo-saxon, la préoccupation sur les curricula est plus locale. Bodzin (2012, p. 1269, voir plus loin) indique par exemple qu'il existe aux États-Unis des objectifs d'enseignement à atteindre, définis au niveau fédéral et au niveau des États, mais que chaque district scolaire choisit librement les manuels et les matériaux d'enseignement qui permettront d'atteindre ces objectifs. Aussi la réflexion sur les curriculums s'accompagne-t-elle fréquemment de propositions de contenus innovants, avec évaluation.

Par exemple, l'article de Schnittka et Bell (2011) analyse le déroulement d'une séquence (six séances de quatre-vingts minutes, voir description figure 1, p. 1867) sur l'énergie thermique et le transfert de chaleur dans trois classes de grade 8 (quatrième), avec la même enseignante, aux États-Unis. Dans la première classe, l'enseignante dispense son cours habituel ; dans la deuxième et la troisième, les élèves doivent, par groupes, fabriquer des dispositifs pour empêcher de fondre un pingouin en glace placé sous des lampes dans un « four » ; le troisième groupe se différencie du deuxième par le fait qu'on ajoute des expériences ciblant spécifiquement certaines conceptions sur la chaleur et son transfert : substantialisation de la chaleur et du « froid » (on retrouve le calorique), propriétés inhérentes à certains matériaux de garder ou rejeter la chaleur ou le « froid », etc. L'évolution des conceptions manifestées par les élèves est suivie de différentes manières : tests avant/après, entretiens, vidéos réalisées pendant les séances. Tout en insistant sur les limitations de l'expérimentation, sur les paramètres spécifiques de la population étudiée par exemple, les auteurs avancent la conclusion que le premier groupe (groupe témoin, enseignement classique) et le deuxième (orientation technologique, réalisation et test d'un dispositif matériel), ne sont pas significativement différents en ce qui concerne l'évolution des conceptions des élèves ; par contre les gains sont deux fois plus importants pour le troisième groupe, où des expériences réalisées et discutées

en classe s'adressaient à des conceptions manifestées par les élèves lors du pré-test et des entretiens initiaux ; l'analyse des vidéos de classe montre d'ailleurs clairement la déstabilisation de certaines conceptions par ces expériences, au moment où elles sont discutées. Il faut préciser ici que les expériences ont lieu avant que les élèves passent à la réalisation pratique de leur dispositif isolant ; la comparaison avec les élèves du deuxième groupe, qui ont la même tâche à accomplir, montre que cette construction d'objet matériel prend un sens très différent lorsque les élèves ont pu réfléchir auparavant sur leur vision des phénomènes liés à la chaleur, ce qui est le cas des élèves du troisième groupe.

Un travail récent de Papadouris et Constantinou (2014) fait part également d'une innovation portant sur l'enseignement de l'énergie, axée sur une autre direction que la précédente : l'articulation entre l'enseignement de l'énergie et celui de la nature de la science. Les auteurs font en effet remarquer – de façon tout à fait cohérente avec plusieurs articles de ce numéro de RDST – que l'énergie joue un rôle spécial en science, et pose par conséquent des problèmes spécifiques (« *a significant challenge* », p. 758) pour son apprentissage et sa compréhension ; comment concilier son caractère abstrait et quantitatif avec le besoin d'une explication simple et qualitative des phénomènes physiques, à la portée d'élèves de collège ? Les auteurs défendent l'idée qu'une référence explicite à la nature de la science permet, dans une sorte de déplacement épistémologique, de présenter l'énergie comme un cadre théorique que se sont donné les physiciens plutôt que comme une quantité physique obéissant à des lois de conservation. Ainsi, une vision plus juste de l'activité scientifique et une compréhension du concept d'énergie se construisent en même temps. L'expérimentation a été menée auprès de trois classes d'élèves de sixième à Chypre. Elle visait trois objectifs : que les élèves fassent clairement la distinction entre observation et interprétation ; qu'ils comprennent le rôle de l'invention dans l'élaboration de mécanismes aptes à interpréter les phénomènes physiques ; qu'ils comprennent que l'énergie est une construction élaborée pour cette interprétation des comportements des systèmes physiques. Le dispositif didactique (neuf séances de quatre-vingts minutes) s'articule en trois phases, dont il faut noter que la deuxième consiste en la discussion de deux textes historiques, l'un sur les lois aristotéliennes du mouvement, l'autre à propos des travaux de Lavoisier sur le calorique. Les résultats, qui s'appuient à la fois sur un test initial et un test final, ainsi que sur des entretiens, montrent un changement radical de point de vue chez les élèves sur les trois objectifs poursuivis.

On peut passer ensuite à l'évaluation des pratiques d'enseignement, qui est déjà perceptible dans les trois articles dont nous venons de parler.

### **1.3. Les pratiques d'enseignement relatives au concept d'énergie**

L'article de Hervé, Venturini et Albe (2014), dans ce numéro, « La construction du concept d'énergie en cours de physique : analyse d'une pratique ordinaire d'enseignement » est assez différent des autres articles du numéro. Il s'agit d'une description

de phénomènes didactiques dans une classe ordinaire – essentiellement du point de vue de la gestion des savoirs par l'enseignante – à la lumière de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD). Une fois posée l'évidence que l'énergie est un concept extrêmement abstrait, dont la conservation par principe garde une part de métaphysique, comment l'enseigner dans sa généralité et dans son abstraction dans une classe de première de l'enseignement agricole? La théorie employée sert aux auteurs à la fois à découper la séance d'enseignement (d'une heure) en jeux, donc à construire un récit de la séance basé sur les concepts de la TACD, et à mettre au jour l'épistémologie pratique de l'enseignante, qu'on peut décrire à trois niveaux imbriqués : ce qu'est l'enseignement/apprentissage, ce que sont les savoirs scientifiques, ce que doit être l'éducation.

Le cadre théorique de la TACD permet aux auteurs de produire des résultats sur le passage qu'opère l'enseignante entre le langage de la vie quotidienne et le langage scientifique, ou sur ce que l'enseignement révèle de l'épistémologie pratique de l'enseignante. Ce concept d'énergie, à la fois couramment utilisé et terriblement abstrait, pose autant de questions aux élèves et aux enseignants qu'aux physiciens qui l'ont dégagé ou aux concepteurs de programmes. Dans cette mesure, cet article s'inscrit dans la suite des trois précédents textes de ce dossier, qui précisément ont montré ces difficultés historiques ou curriculaires.

Il est ensuite logique de s'intéresser aux apprentissages réalisés lors de pratiques de classes effectives.

#### **1.4. L'apprentissage du concept d'énergie**

Un premier aspect intéressant relevant de l'analyse des apprentissages réalisés en cours d'instruction par des élèves est fourni par l'étude de Tang, Tan et Yeo (2011). L'idée-force qui sous-tend ce travail est que les concepts scientifiques ne sont pas « des objets platoniciens transcendants existant dans le monde extérieur, ni des schémas mentaux kantien stockés dans l'esprit, mais sont reconstruits à chaque instant dans une configuration donnée de ressources sémiotiques, dépendant du contexte » (*op. cit.*, p. 1780, notre traduction), configuration située dans une pratique historique et culturelle des scientifiques (une présentation plus détaillée de cette perspective sur la nature des concepts peut être trouvée dans Tang, 2011). Un concept se manifeste donc de façon multimodale – les modalités mentionnées à propos de l'énergie/travail sont de type verbal, écrit, iconique, gestuel. Chaque modalité contribue à la compréhension du concept, mais avec un décalage : les sens véhiculés dans une modalité ne sont pas forcément identiques à ceux véhiculés dans une autre. De cela il découle pour l'enseignement que la mise en relation des différentes modalités ne peut être laissée à la charge des apprenants – on retrouve des problématiques proches des registres sémiotiques de Duval.

L'étude de Tang, Tan et Yeo analyse l'activité d'un groupe de cinq élèves de Singapour, de bon niveau, au grade 9 c'est-à-dire en troisième en France. Ils se livrent à une « démarche d'investigation » (*inquiry*) à propos d'un accident fictif



dans une montagne russe, la chute d'un véhicule d'une certaine hauteur. Les élèves, travaillant à la même table, disposent d'un modèle réduit de la montagne russe et tous ont un ordinateur relié à Internet, où ils créent divers documents pour eux-mêmes, ou partagent des écrits sur un forum. L'analyse linguistique des échanges montre bien comment les élèves utilisent les diverses modalités mentionnées plus haut pour construire un sens à la conservation de l'énergie/travail, et l'appliquer à leur problème. Un modèle détaillé de construction de sens pour la conservation de l'énergie mécanique entre l'instant initial et l'instant final est donné p. 1784.

L'énergie n'est pas un concept cantonné à la physique ; il est indispensable dans d'autres disciplines.

### **1.5. L'énergie dans d'autres disciplines**

C'est aussi à ce que pensent les apprenants que s'intéressent Chabalengula, Sanders et Mumba dans une étude portant sur la compréhension du concept d'énergie dans un contexte biologique (2012). Mais tant le cadre théorique que les méthodes d'étude sont différents de l'étude de Tang, Tan et Yeo. D'une part les auteurs cherchent à mettre au jour les conceptions individuelles des étudiants à l'entrée de l'université (ce que Tang, Tan et Yeo appelleraient sans doute des « schémas mentaux kantien »), et non la construction collective de sens au cours d'activités. D'autre part et de façon cohérente avec ce point de vue théorique, l'étude de Chabalengula, Sanders et Mumba présente les réponses de quatre-vingt-dix étudiants sud-africains, en première année d'études universitaires biomédicales, à un questionnaire comportant des questions qualitatives ouvertes ou à choix multiples.

La construction du questionnaire a été réalisée sur la base d'une étude de la littérature de recherche sur les conceptions à propos de l'énergie ; un tableau récapitulatif intéressant est donné p. 244. La littérature a aussi permis aux auteurs de construire un référentiel détaillé de savoirs relatifs à l'énergie dans un contexte biologique (p. 247). Les réponses des étudiants manifestent les diverses conceptions déjà relevées dans les travaux antérieurs : par exemple le quart d'entre eux semble considérer l'énergie comme une substance. Surtout certaines caractéristiques globales des résultats peuvent être retenues, au moins à titre d'hypothèses pour des études dans d'autres contextes. En premier lieu, pratiquement tous les étudiants donnent une définition acceptable de l'énergie et une formulation correcte de sa conservation ; mais l'application de cette conservation à des situations concrètes est la plupart du temps défailante. Deuxièmement, la proximité avec les situations de la vie quotidienne est un facteur favorisant les erreurs, notamment d'application de la conservation de l'énergie ; le poids du langage commun, employant des expressions du type « l'énergie est usée » ou « l'énergie est reconstituée », semble très marquant. Troisièmement, une séparation nette apparaît entre l'usage du concept d'énergie dans le domaine du vivant et dans le monde matériel ; ainsi, plus de la moitié des étudiants répondent qu'ils sont d'accord avec l'énoncé suivant : « les organismes vivants ont une sorte d'énergie qui est différente de l'énergie que nous avons étudiée ».

en sciences physiques» ; ce qui est cohérent avec le fait que la moitié des étudiants, en expliquant ce qu'est pour eux l'énergie, fait référence aux êtres vivants, alors que la moitié considère que ce concept n'est réellement applicable qu'aux « machines et mécanismes », comme l'un d'eux l'écrit ; ou bien le concept d'énergie est applicable à des phénomènes biologiques assimilables à des mécanismes : le pompage du sang, le mouvement, la contraction des muscles, etc., mais plus difficilement à des phénomènes comme la photosynthèse, la digestion, le métabolisme (voir aussi Orange, 1997). Les auteurs formulent des recommandations pour l'enseignement du concept d'énergie, en particulier de donner plus d'importance à la multimodalité des présentations du concept ; en cela ils rejoignent donc l'article précédent.

Partant de l'idée que les usages du concept d'énergie ne semblent pas en général cohérents pour les étudiants entre différentes disciplines, Lancor (2014) a mené une étude similaire, visant à mettre au jour les conceptions d'étudiants des deux premiers semestres universitaires sur l'énergie, dans plusieurs contextes disciplinaires : les écosystèmes, les réactions chimiques, les systèmes mécaniques, les circuits électriques. Cependant elle a utilisé des moyens d'investigation différents : au lieu de répondre à un questionnaire, on demande aux étudiants de formuler des analogies. Par exemple, « l'énergie dans les circuits électriques est comme... » et les étudiants doivent compléter avec leurs propres métaphores. On obtient par exemple des énoncés du type : « l'énergie dans les circuits électriques est comme un tuyau remplissant une piscine. Il y a un trou dans la piscine par où l'eau fuit. Pour modéliser un résistor dissipant l'énergie, on peut dire qu'il y a un trou dans le tuyau si le résistor est présent. L'eau fuit du tuyau en même temps qu'il remplit la piscine, ce qui fait que la piscine perd plus d'eau que ce que met le tuyau, représentant la perte d'énergie. » Cette réponse est catégorisée comme manifestant que l'énergie est conçue comme une substance qui s'écoule. Sept catégories sont ainsi élaborées à partir des 181 analogies qui ont été analysées. Un des résultats de cette étude est que, contrairement à l'attente initiale de l'auteur, peu de différences apparaissent entre contextes disciplinaires, relativement à l'usage de ces types de conceptions. Par contre, d'autres types de contextes peuvent jouer un rôle discriminant ; ainsi Lancor note-t-elle (p. 17) : « des différences d'échelles peuvent notablement influencer la métaphore utilisées pour expliquer l'énergie. Les systèmes mécaniques macroscopiques appellent des métaphores différentes, et par conséquent des conceptualisations différentes de l'énergie, que les systèmes à une échelle subatomique tels que les circuits électriques. » On constate donc une nuance avec les résultats de l'étude précédente (Chabalengula, Sanders & Mumba, 2012), qu'on peut attribuer soit aux méthodologies employées, soit à des facteurs culturels.

Si on ne pense plus seulement en termes de disciplines scolaires, l'énergie intervient aussi dans des questions sociétales.

### **1.6. L'énergie : question sociétale**

L'article de Bodzin (2012) que nous avons déjà mentionné a précisé pour objectif d'évaluer les connaissances d'élèves de grade 8 (quatrième), en milieu urbain, sur les ressources énergétiques et les usages sociaux des différentes formes d'énergie. Pour cela a été élaboré un questionnaire de 39 questions à choix multiples, organisé en trois parties : l'origine des ressources énergétiques (la question de leur renouvellement plus ou moins rapide, la conséquence sur la disponibilité et le coût de mise à disposition); la production, le stockage et le transport de l'énergie, en fonction de sa forme; la consommation et le non-gaspillage de l'énergie, ainsi que les conséquences environnementales de son usage. Le questionnaire a été administré à 1043 élèves de cinq écoles, dans deux districts utilisant les mêmes matériaux d'enseignement, après enseignement. Le dépouillement des réponses indique que les objectifs en termes de connaissances de ces questions sont faiblement atteints. Par exemple, le sens de l'expression énergies renouvelables semble assez obscur pour beaucoup d'élèves : si 51 % classent le pétrole dans les énergies non-renouvelables, 13 % savent que la raison en est que le pétrole que nous utilisons a été créé à partir du plancton et autres organismes marins il y a plusieurs millions d'années, et que par conséquent la ressource se renouvelle beaucoup moins vite qu'elle n'est utilisée; 51 % des élèves affirment également que le nucléaire n'est pas une énergie renouvelable parce qu'il produit des déchets radioactifs, alors que 22 % seulement affirment, dans la même question, que les ressources en uranium sont limitées. En ce qui concerne les phénomènes de transport de l'énergie électrique, la méconnaissance évidente des processus se double de conceptions classiquement mises en évidence dans la littérature sur l'apprentissage des phénomènes électriques, essentiellement la confusion entre tension et énergie : d'une part 51 % des élèves pensent que l'unité d'énergie électrique est le volt; d'autre part, pour expliquer que l'électricité entre sur le réseau de transport sous une tension de 350 kV et qu'elle est fournie aux habitations sous une tension de 120 V, les trois quarts font appel à des pertes en ligne de natures diverses, et non à des transformateurs.

Ce tour d'horizon des champs de recherches en didactique sur l'énergie met en évidence une piste qui est très peu explorée, et sur laquelle nous allons, dans la seconde partie de cet article, porter une réflexion visant à dégager des pistes de recherche. Cette piste consiste à poser le problème de l'enseignement et de l'apprentissage du concept d'énergie de manière pluridisciplinaire, c'est-à-dire en pensant simultanément les questions didactiques dans différentes « disciplines » (par exemple physique-chimie, histoire-géographie, technologies, sciences de la vie et de la Terre, éducation physique et sportive, éducation à la santé, etc.). En effet, penser la question de l'enseignement apprentissage de l'énergie dans une seule discipline à la fois, consiste en quelque sorte à modéliser l'élève comme un être qui ne ferait pas de lien entre les différentes disciplines scolaires, ne chercherait pas à se construire une représentation cohérente de ce concept ou à repérer les différences

de sens de ce concept en fonction des contextes d'utilisation. D'ailleurs l'étude de Chabalengula, Sanders et Mumba (2012) montre bien la difficulté pour les élèves de considérer le concept d'énergie comme un concept unificateur s'appliquant à des disciplines du vivant et du non-vivant. Selon que l'on considère *a priori* le concept scolaire<sup>1</sup> d'énergie comme polysémique ou non, la réponse didactique apportée à la question d'un enseignement de l'énergie dans plusieurs disciplines va différer fondamentalement.

## 2. Le concept scolaire d'énergie est-il polysémique ?

Si on considère que le concept d'énergie est polysémique, alors, il peut sembler légitime qu'il soit enseigné de manière différente d'une discipline à l'autre. Si tel est le cas, le rôle des enseignants des différentes disciplines peut être éventuellement d'accompagner l'élève dans cette polysémie en justifiant les différentes approches de ce concept selon les disciplines. Dans ce cas, se pose alors uniquement la question de la cohérence interne à une discipline du concept d'énergie, c'est-à-dire que les questions didactiques portent principalement sur la manière de construire un concept cohérent d'énergie au sein d'une discipline. À l'inverse, si le concept scolaire d'énergie est *a priori* pensé comme pouvant posséder le même sens d'une discipline à l'autre, il semble alors préférable de coordonner entre les disciplines la manière d'aborder ce concept pour rendre sa construction cohérente d'un point de vue intra et interdisciplinaire et ce, afin d'en favoriser l'apprentissage par les élèves tout au long de leur scolarité.

Il est indéniable que le concept d'énergie possède des sens différents lorsqu'il est utilisé en dehors de l'institution scolaire (dans la vie quotidienne il est synonyme de puissance, il qualifie une personne : «quelqu'un d'énergique», il est substantifié «déborder d'énergie», etc.). Mais la question de la polysémie du concept d'énergie au sein même de l'école doit être questionnée. En effet, si l'on se place du point de vue de l'élève, il semble *a priori* plus simple pour un élève d'apprendre et d'utiliser au sein de différentes disciplines un seul concept d'énergie qui lui permette de répondre aux questions que chaque discipline se pose, plutôt que des concepts d'énergies qui n'ont pas de lien entre eux et peuvent même présenter des contradictions.

Ainsi, nous postulons clairement dans cet article la possibilité – voir même l'intérêt pour les élèves – d'aborder l'énergie de manière cohérente au sein de différentes disciplines scolaires. Il ne s'agit pas ici de dire que le concept d'énergie est strictement identique d'une discipline à une autre, et nous rejoignons en cela Bruguière, Sivade et Cros (1994), mais de considérer que chaque discipline va mettre l'accent sur telle ou telle propriété de l'énergie, sans pour autant que cette propriété soit en

---

1 Pour désigner le concept d'énergie utilisé dans le cadre des programmes scolaires – et pour le différencier du concept d'énergie utilisé dans d'autres contextes (par exemple celui de la vie courante) – nous utiliserons la terminologie de « concept scolaire d'énergie ».

contradiction avec les propriétés du concept d'énergie tel qu'il est mobilisé dans une autre discipline. C'est la focale qui sera portée sur ce concept (transfert d'énergie en physique-chimie, transport en géographie, stockage et flux en biologie, utilisation de différents types d'énergie pour faire fonctionner certains objets technologiques, caractère polluant de l'utilisation de certaines sources, perte d'énergie, durée de renouvellement de la source d'énergie [ou rapport entre le flux d'énergie entrant dans un réservoir et le flux sortant]) qui changera d'une discipline à l'autre, ainsi que les domaines d'application du concept (êtres vivants pour la biologie, réservoirs et transport d'énergie dans le monde pour la géographie, objets fabriqués par l'homme en technologie, molécules en chimie, etc.).

Au premier abord, cette posture pourrait paraître s'opposer aux études mobilisant le concept de « pratiques sociales de références » (Martinand, 1989) pour penser la construction de curriculum dans des parcours différents. Le concept de pratiques sociales de référence permet notamment de comprendre qu'un même concept, selon le champ professionnel dans lequel il est utilisé peut avoir des sens totalement différents. Par exemple, il permet de comprendre que le courant électrique et ses propriétés ne sont pas les mêmes pour un électricien, pour un électronicien, pour un chercheur travaillant sur la supraconduction, pour un responsable de la sécurité des installations, ou pour un kinésithérapeute utilisant des appareils électriques pour la rééducation. Ce concept est extrêmement pertinent pour différencier des curriculums d'enseignement visant à préparer différents métiers. Or, dans le cas qui nous intéresse, nous parlons d'un seul et même cursus, suivi par une même classe d'élèves, qui aborde le concept d'énergie dans différentes disciplines. Pour reprendre notre exemple à propos de l'électricité, nous considérons qu'il est souhaitable dans le cadre d'une formation relative à la sécurité des biens et des personnes, que l'électricité soit abordée de manière cohérente au sein de cette formation, quelle que soit l'approche disciplinaire considérée. Ainsi, concernant le concept scolaire d'énergie, nous considérons qu'il est nécessaire de postuler *a priori* une nécessaire homogénéité du concept d'énergie enseigné dans les différentes disciplines au sein d'un même parcours.

La question des conditions de cette construction cohérente du concept scolaire d'énergie peut être étudiée selon plusieurs points de vue : elle peut être posée du point de vue des enseignants dans leur propre discipline et aussi dans les autres disciplines, du point de vue des élèves à propos des conceptions qu'ils ont de ce concept dans les différentes disciplines, et également du point de vue des prescriptions primaires que sont les programmes. C'est ce dernier point que nous allons aborder dans cet article. Il s'agit de poser la question de la cohérence de l'approche du concept d'énergie de manière intradisciplinaire mais également interdisciplinaire.

Pour interroger ce concept dans différentes disciplines, nous avons choisi d'adopter dans un premier temps le point de vue de la didactique des sciences sur l'enseignement et l'apprentissage du concept d'énergie pour ensuite interroger les programmes de physique-chimie, de science de la vie et de la Terre, d'histoire-géo-

graphie et de technologie. Ce choix résulte du fait que les programmes français de physique-chimie mobilisent de manière très régulière et fréquente le concept d'énergie. Une des limites de cette approche réside dans le fait que l'analyse n'est effectuée que par des didacticiens de la physique et qu'elle devra rapidement être menée conjointement par des didacticiens des différentes disciplines. Néanmoins, nous considérons cette analyse comme une première exploration permettant de montrer le potentiel heuristique de recherches plurididactiques.

Enfin, nous avons choisi de centrer cette analyse exploratoire des programmes sur les manques de cohérence intra et/ou interdisciplinaire de l'enseignement de ce concept afin d'interroger la possibilité de lever ces contradictions.

### **3. Quelques manques de cohérence relatifs à l'enseignement du concept d'énergie : du constat aux questions de recherche**

Dans les programmes français, l'énergie fait partie des thèmes de convergence. Il se situe donc de manière explicite comme étant à la croisée de différentes disciplines. Dans ce contexte, nous proposons d'explorer les questions que posent les prescriptions. Il s'agit plus précisément d'effectuer une analyse comparative entre ce que proposent les programmes de différentes disciplines et ce que proposent les travaux de didactique des sciences concernant l'enseignement de ce concept. Il existe des positions divergentes sur la manière dont les didacticiens envisagent d'enseigner le concept d'énergie, mais il existe un grand nombre de points de convergence. C'est à partir de ces points de convergence que nous mènerons l'analyse comparative entre les propositions des programmes actuels dans différentes disciplines et l'approche envisagée par la didactique des sciences physiques. Les décalages ainsi repérés nous permettront de poser des questions relatives à l'enseignement du concept d'énergie.

Dans cette partie nous étudions la manière dont le concept d'énergie est abordé de manière qualitative dans les programmes français. Nous avons choisi de nous limiter à l'approche qualitative du concept d'énergie car elle est considérée comme nécessairement première dans l'approche du concept d'énergie par les didacticiens (par exemple : Lemeignan & Weil-Barais, 1993 ; Tiberghien, 2008). En effet, c'est la modélisation qualitative de la situation qui permet ensuite une mise en équation mathématique de la situation. Par ailleurs, la construction du concept d'énergie nécessite l'analyse d'une diversité de situations (Lemeignan & Weil-Barais, 1993) permettant ainsi d'aborder les différentes formes d'énergie et de transfert d'énergie, les différentes transformations (transformation d'une forme d'énergie en une autre et transformation d'une forme de transfert en une autre [Brugière, Sivade & Cros, 2002]). Notons que la nécessité d'étudier un grand nombre de situations pour montrer le caractère unificateur du concept d'énergie rend pertinente une approche pluridisciplinaire de ce concept.

S'il n'y a pas un parfait accord entre les didacticiens sur l'ensemble des termes à utiliser, les types de situations à étudier ou les symboles à utiliser pour représenter

une chaîne énergétique, il semble qu'un accord se dégage sur les points suivants concernant l'approche qualitative du concept d'énergie. Les auteurs semblent s'accorder sur la nécessité d'un germe de modèle pour débiter l'enseignement de l'énergie. Ce germe de modèle définit certaines caractéristiques de l'énergie et peut être constitué d'une partie des éléments suivants : une source d'énergie est nécessaire pour chauffer, éclairer ou mettre en mouvement ; cette source s'épuise lorsqu'elle est utilisée pour effectuer une de ces actions ; l'énergie possède plusieurs formes (cinétique, chimique, etc.) ; elle peut être stockée dans un système appelé « réservoir » ; l'énergie peut être transférée d'un système à un autre par électricité, mouvement, chaleur et lumière ; elle peut être transformée par des transformateurs ; elle se conserve en valeur au cours de ses différentes transformations.

Les auteurs s'accordent également sur la nécessité d'utiliser des représentations graphiques pour modéliser les chaînes énergétiques. Cette modélisation nécessite de définir les systèmes (transformateurs et réservoirs), définir les modes de transfert d'énergie et de choisir un code pour représenter les éléments constitutifs de la chaîne énergétique. Dans la suite nous allons utiliser le mode de représentation suivant (les formes d'énergies et les modes de transfert pouvant être dans des niveaux de formulation différents selon le niveau d'enseignement) :

C'est donc ces éléments constitutifs de ce premier modèle de l'énergie que nous

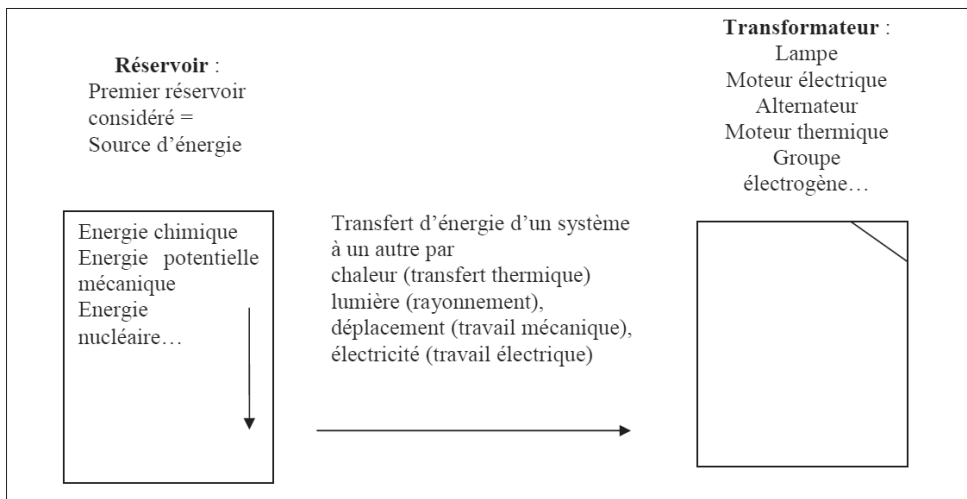


Figure 1 : germe de modèle énergétique et sa représentation symbolique

allons utiliser pour repérer dans les programmes de physique-chimie, histoire géographique, technologie et sciences de la vie et de la Terre les éléments qui peuvent entrer en contradiction avec ce premier modèle de l'énergie et donc faire potentiellement obstacle à sa construction par les élèves.

### 3.1. Définition de l'énergie : faut-il distinguer énergie et transfert d'énergie ?

L'énergie est définie dans les programmes de collège de physique-chimie de 2008 comme la capacité d'un système à produire des effets. Mais cette définition est incomplète car elle ne permet pas de faire la différence entre l'énergie – potentielle, cinétique, chimique, etc. – et le transfert d'énergie – par chaleur, électricité, déplacement, lumière –. Par exemple, dans un circuit électrique, la pile dans laquelle est stockée l'énergie chimique peut être considérée comme ayant une capacité à produire des effets (allumer une lampe). Mais, dans un même temps, le courant électrique peut lui aussi être considéré comme ayant la capacité à produire un effet, alors même que l'électricité est un mode de transfert de l'énergie entre la pile et la lampe. Cette confusion entre transfert d'énergie et énergie est à l'origine du type de représentations que l'on peut trouver dans les documents d'accompagnement de programme de 1<sup>re</sup> L, dans lesquels l'énergie n'est pas stockée dans les réservoirs mais transférée d'un système à un autre et les réservoirs ne sont pas distingués des transformateurs...

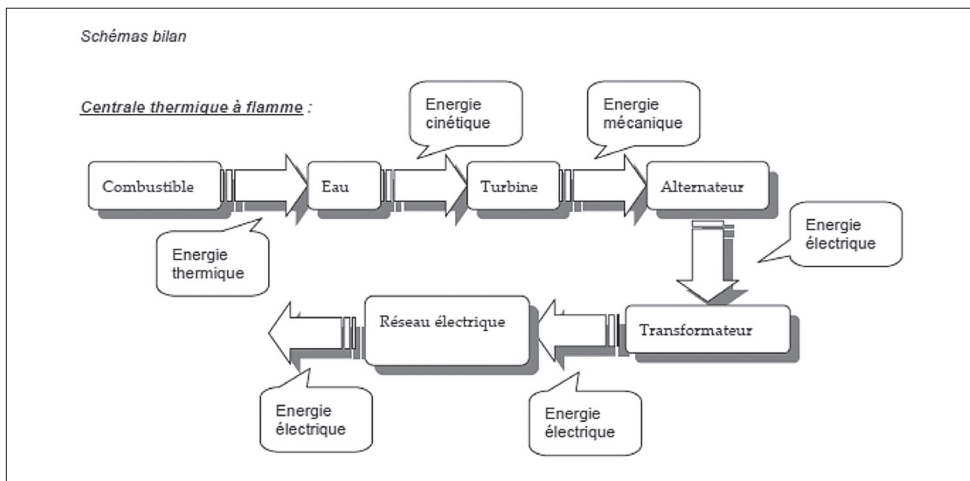


Figure 2 : modélisation d'une chaîne énergétique sans distinction entre énergie et transfert d'énergie, ni entre réservoir et transformateur d'énergie

... ou encore dans des documents pédagogiques à destination des enseignants, à travers des manuels scolaires ou encore à travers des sites pédagogiques (voir figure 3)

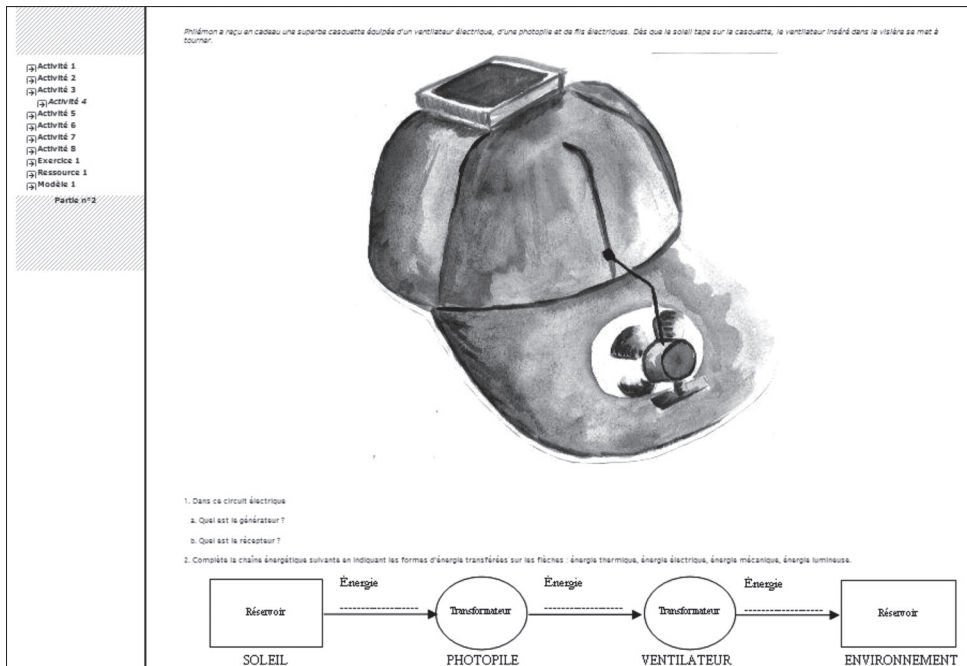
Or, cette absence de distinction pose une première série de questions didactiques très intéressantes : quand et pour quelle discipline, dans un cursus scolaire, doit-on distinguer énergie et transfert d'énergie, réservoir et transformateur d'énergie ? Quelle question, quel problème peuvent être résolus sans introduire la distinction entre énergie et transfert d'énergie ? Quelles difficultés d'apprentissage peuvent être provoquées par une absence de distinctions entre ces deux concepts ?



En géographie, le terme de ressource est utilisé. Ce terme de « ressource d'énergie », liée à son exploitation renvoie bien à l'idée d'un stockage possible de cette énergie. Nous pouvons *a priori* supposer que le géographe ne verrait donc pas de problème à utiliser une première définition de l'énergie respectant la distinction entre énergie et transfert d'énergie. Nous pouvons également faire la même hypothèse concernant ce type de définition dans le domaine de la biologie qui s'appuie entre autres sur l'idée des réserves énergétiques.

Cette confusion (ou absence de distinction) entre énergie et transfert d'énergie se retrouve dans les programmes de physique de terminale S qui considèrent la conduction, la convection et le rayonnement comme étant des modes de « transferts thermiques » alors qu'il s'agit plutôt de trois modes de « transfert<sup>2</sup> de l'énergie thermique » appartenant à un système, c'est-à-dire trois manières de faire diminuer l'énergie thermique d'un système. L'expression « transfert thermique » est quant à elle synonyme de « chaleur » et renvoie à un mode de transfert d'énergie microscopique et désordonné d'un système à un autre.

Cette confusion (ou absence de distinction) entre énergie et transfert d'énergie est également fortement liée à la question de l'utilisation de l'expression « énergie électrique » dans les programmes de physique chimie.



**Figure 3 : modélisation d'une chaîne énergétique sans distinction entre énergie et transfert d'énergie mais avec distinction entre réservoir et transformateur d'énergie**

2 Ou de transport (voir dans cet article le paragraphe consacré à cette question).

### 3.2. Peut-on parler d'énergie électrique ?

L'énergie électrique est présente dans les programmes de 2008 du collège et constitue même le titre d'une partie de ce programme. Or, l'expression « énergie électrique », bien qu'elle soit totalement naturelle car très répandue dans la vie courante, peut être questionnée si l'on se place du point de vue scolaire (Bächtold *et al.*, 2014). En effet, si la « stockabilité » est considérée comme une caractéristique fondamentale de l'énergie, l'électricité ne peut pas être considérée comme une forme d'énergie puisqu'elle ne peut pas être stockée – sauf dans de rares cas, comme celui des condensateurs. Or, l'expression « énergie électrique » est souvent utilisée, de manière inappropriée, dans le sens du « travail électrique », c'est à dire d'un mode de transfert d'énergie d'un système à un autre.

L'expression « énergie électrique » est parfois utilisée sans précaution particulière ou plus précisément sans considérer le caractère stockable de l'énergie, propriété qui rend nécessaire la distinction entre énergie et transfert d'énergie. La confusion récurrente entre « énergie électrique » et « transfert d'énergie par électricité » dans la vie courante, confusion entretenue par les programmes, risque de renforcer les difficultés d'apprentissage concernant la distinction entre énergie et transfert d'énergie et donc la capacité à déterminer ce qui relève des systèmes et des relations entre systèmes.

Si l'on se place du point de vue de l'Éducation au Développement Durable (EDD) une des questions fondamentales qui se posent, est celle du caractère renouvelable de l'énergie<sup>3</sup>. Si l'électricité était considérée comme une forme d'énergie, alors, il deviendrait possible de poser la question du caractère renouvelable de l'électricité. Or, la réponse à cette question se heurte rapidement à un problème de sens : que signifie renouveler « un mode de transfert ? » Peut-on renouveler un stock d'électricité ? Si la question du caractère renouvelable de l'électricité peut difficilement se poser, en revanche, la question du caractère renouvelable ou non du nucléaire, de l'énergie cinétique éolienne, de l'énergie potentielle hydraulique, peut avoir du sens, puisqu'il s'agit dans ce cas de formes d'énergie, puisqu'elles peuvent être stockées.

Sur le plan des recherches, il semble nécessaire d'approfondir cette question en étudiant s'il est didactiquement pertinent de ne pas placer dans un premier germe de modèle le caractère « stockable » de l'énergie ce qui permettrait de parler temporairement d'énergie électrique.

Les enseignants de géographie n'auraient-ils pas eux aussi, intérêt à ce que les élèves distinguent ce qu'ils appellent des sources d'énergie (nucléaire, hydraulique, combustibles) et le transport d'énergie (ou son transfert) depuis son lieu de production à son lieu de consommation (par l'électricité) ? D'ailleurs l'analyse de quelques manuels scolaires de la classe de cinquième de géographie montre que parmi les

---

3 Une analyse en terme de flux d'entrée et flux de sortie (Orange, 1997) du réservoir, ne serait-elle pas plus pertinente qu'une analyse en terme de renouvellement du réservoir à l'échelle de temps humaine pour rendre compte du caractère renouvelable d'une énergie ?

ressources d'énergie, l'électricité n'est pas citée. C'est le nucléaire qui apparaît à côté du pétrole, du charbon, du gaz naturel et des énergies renouvelables. Ainsi, le point de vue du géographe qui consiste à ne pas considérer l'électricité comme une ressource énergétique, donc comme un réservoir, peut rencontrer l'analyse du didacticien des sciences physiques amenant à considérer l'électricité comme un mode de transfert d'énergie et non pas comme une forme d'énergie.

On voit ici clairement l'intérêt que peut présenter une approche plurididactique du concept d'énergie, puisque les problèmes de cohérence interne posés à une discipline (la physique) interrogent également la cohérence des choix effectués par une autre discipline (la géographie).

Dans le champ des recherches en didactiques relatives aux curriculums, il serait intéressant de comprendre les raisons pour lesquelles l'institution scolaire entretient la confusion entre énergie électrique et transfert d'énergie par électricité. Est-ce parce que le terme «énergie électrique» est souvent utilisé dans la vie courante? Est-ce par mesure de simplification? Mais, ces premières hypothèses ne semblent *a priori* pas ou peu convaincantes, car les programmes de troisième introduisent la distinction entre poids et masse dont la confusion est elle aussi très présente dans la vie courante.

### **3.3. Peut-on parler de production d'énergie ?**

Les programmes d'histoire-géographie et de sciences de la vie et de la Terre de cinquième utilisent l'expression «production d'énergie». Production pouvant être considérée comme un synonyme de création, cette expression peut laisser croire qu'il est possible de créer de l'énergie. Or, du point de vue de la physique il n'est pas possible de créer de l'énergie mais seulement de transformer une forme d'énergie en une autre forme.

La dialectique production/consommation d'énergie, soulevant la question des échanges commerciaux entre pays producteurs et pays consommateurs, est au cœur de la réflexion géographique. D'ailleurs, l'expression «pays producteur de pétrole» traduit bien cet éclairage particulier du concept d'énergie du point de vue de la géographie.

Pour autant, quel est le point de vue des didacticiens de la géographie au sujet de la «production d'énergie»? Ne serait-il pas plus pertinent, de leur point de vue, de parler «d'exploitation des ressources énergétiques» plutôt que de production d'énergie? En effet, l'expression «exploitation de ressources énergétiques» centre l'attention sur le fait qu'en exploitant une ressource, celle-ci s'épuise, ce qui en retour permet de pointer l'intérêt de s'orienter vers des sources d'énergies renouvelables. Les pays «producteurs de pétrole» deviendraient alors des pays «extracteurs de pétrole». Toujours du point de vue du géographe, l'expression «production d'énergie» pourrait laisser croire aux élèves qu'il suffirait de produire de l'énergie pour faire face aux problèmes énergétiques d'un pays.

Les programmes de sciences de la vie et de la Terre parlent également de production d'énergie (la production d'énergie nécessaire aux organes), alors même que les anciens programmes utilisaient la notion de conversion. Il semblerait donc que le concept de conversion ou de transformation puisse être utilisé aussi dans

l'enseignement de la biologie, et que le choix du terme de production relève plutôt d'un changement de terminologie que de concept.

Du point de vue de la recherche, il serait nécessaire de développer une réflexion en didactique de la biologie, de l'histoire-géographie et de la physique sur la cohérence ou la contradiction véhiculée par le terme de production d'énergie chez les élèves et les enseignants.

La question de la perte d'énergie<sup>4</sup> doit également être traitée de la même manière que celle de la production d'énergie, car, d'un point de vue physique, la conservation de l'énergie au cours des transformations est une propriété essentielle de l'énergie, propriété qui exclut toute forme de perte d'énergie (la conservation d'énergie n'excluant pas sa dégradation).

### ***3.4. Doit-on parler de transfert, transport d'énergie, transmission ou distribution d'énergie ?***

En sciences physiques le terme de transport d'énergie est très peu utilisé alors qu'il est essentiel du point de vue du géographe, pour lequel la question du transport du lieu d'extraction de la ressource d'énergie à son lieu d'utilisation permet d'appréhender des questions géopolitiques.

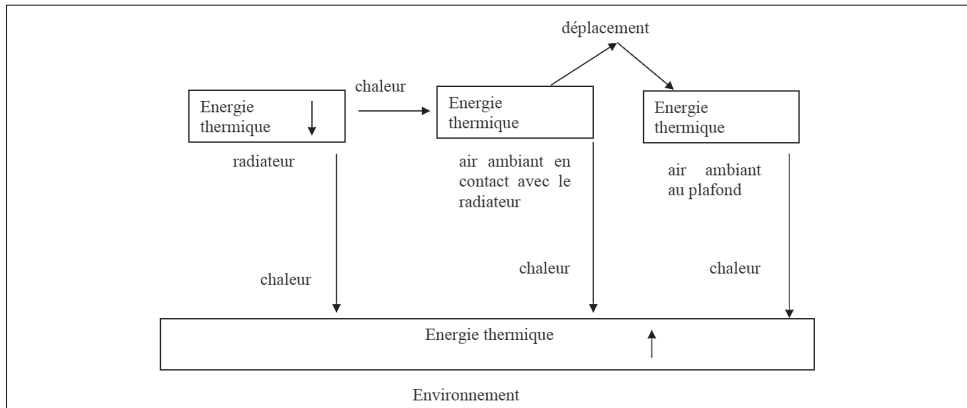
La physique étudie peu la question du transport de l'énergie puisque l'énergie ne subit aucune transformation au cours de ce transport, et donc ne présente pas vraiment d'intérêt pour le physicien. Le transport d'énergie peut être étudié en physique pour modéliser certains phénomènes comme la convection. Lemeignan et Weil-Barais (1993, p. 147) traitent la convection comme un cas de transport de l'énergie dans la modélisation d'une chaîne énergétique en représentant en hauteur un déplacement de la source d'énergie. Le schéma ci-dessous rend compte du déplacement par convection d'une masse d'air chauffée par un radiateur. Dans ce cas, l'énergie thermique est transférée par conduction thermique du radiateur à l'air ambiant dont l'énergie thermique augmente. Par convection, l'air chaud monte et le réservoir d'énergie thermique (air chaud) est ainsi déplacé ou pourrait-on dire transporté d'un lieu à un autre<sup>5</sup>. Vue ainsi, la convection ne serait donc pas un mode de transfert d'énergie thermique, mais un mode de transport d'énergie thermique. Dans cette configuration, le rayonnement, la chaleur et la convection ne seraient pas des modes de transfert d'énergie thermique, mais des modes de transmission (terme recouvrant à la fois le transport et le transfert d'énergie) d'énergie thermique (figure 4 page suivante).

À ce propos, le concept de stockage est au cœur de la distinction entre transport et transfert d'énergie (comme il était au cœur de la distinction entre énergie et

---

4 Extrait du programme de troisième de technologie en vigueur : La notion de rendement sera présentée par identification des principales pertes d'énergie.

5 Sans oublier non plus que ce déplacement d'une masse d'air nécessite de l'énergie. Dans cette modélisation, elle est transmise par l'air environnant sous forme de travail de la poussée d'Archimède.



**Figure 4 : modélisation d'une chaîne énergétique représentant le déplacement d'une portion d'air par convection après avoir été chauffée par un radiateur**

transfert d'énergie). En effet, dans le cas du transport d'énergie, c'est le réservoir stockant l'énergie qui est déplacé. Dans le cas du transfert, le réservoir d'énergie n'est pas transporté, bien que l'énergie de ce réservoir soit transférée d'un système à un autre. On pourrait penser que cette distinction entre transport et transfert est anecdotique pour la physique-chimie, or elle est essentielle, notamment dans le cas de l'enseignement de l'électrocinétique. En effet, de nombreux travaux ont montré que la conception circulatoire avec épuisement du courant est très répandue chez les élèves de collège (pour des synthèses sur les conceptions en électrocinétique voir Robardet & Guillaud, 1997 ; Duit & Rhöneck, 1998 ; Mulhall, McKittrick & Gunstone, 2001). Selon cette conception, les élèves pensent que le courant s'use, il s'épuise, en traversant un dipôle récepteur. Cette conception peut trouver son origine, à la fois dans une confusion entre intensité et énergie, et dans la substantialisation de l'énergie (Bachelard, 1938). Si l'élève considère que le courant électrique transporte de l'énergie issue de la pile, alors celui-ci doit nécessairement perdre quelque chose, s'user en traversant un dipôle puisque celui-ci en gagne. Autrement dit, un élève peut de manière tout à fait cohérente à la fois mettre en œuvre la conception de l'usure du courant et la conservation de l'énergie. Or, le courant électrique ne constitue pas un mode de transport d'énergie, il ne porte pas d'énergie en lui (il n'est pas un réservoir). La source d'énergie reste dans la pile, mais le courant transfère l'énergie d'un système (la pile) à un autre (la lampe), comme le mouvement d'une corde en boucle fermée transfère l'énergie d'une masse tombante à un récepteur (Mercier-Dequidt & Morge, 2014), ou encore comme une chaîne de vélo transfère l'énergie chimique stockée dans le cycliste au vélo (et au cycliste qui voit son énergie cinétique augmenter s'il accélère) ainsi qu'à l'environnement.

Cet exemple illustre à nouveau l'intérêt d'une étude plurididactique du concept d'énergie, puisque les problèmes de cohérence posés entre deux disciplines (transport en géographie et transfert en physique) interrogent en retour la nécessaire différen-

ciation des deux concepts dans chacune des deux disciplines. Ainsi, la convection doit-elle être considérée comme un mode de transfert thermique (voir les programmes de spécialité de terminale S) ou bien comme un mode de transport d'énergie ? Une question similaire peut être posée à propos du rayonnement, représenté par un photon pouvant être considéré comme un réservoir d'énergie qui se déplace (transport d'énergie) ou par une onde électromagnétique (transfert d'énergie). La dénomination (transport ou transfert d'énergie) dépend-elle du cadre théorique mobilisé ?

Les programmes de technologie de 2008 utilisent également le concept d'énergie dès la sixième, en différenciant les « éléments de stockage (pile chimique, accumulateur, réserve naturelle, etc.) de distribution (mécanismes, fils, conducteurs électriques, tuyaux, canalisations) et de transformation (moteur, vérin) de l'énergie ». Le concept de distribution, qui n'est pas dans le modèle produit par les didacticiens de la physique pourrait-il dans un premier temps être considéré comme un concept intégrateur regroupant à la fois transfert et transport d'énergie et ce pour toutes les disciplines mobilisant ce concept en désignant l'objet support du transfert/transport d'énergie ? Le terme de distribution véhicule-t-il pas une conception substantialiste de l'énergie ? Le terme de transmission éviterait-il de véhiculer cette conception ?

### **3.5. Quelle catégorisation des différentes formes d'énergie utiliser ?**

La catégorisation des différentes formes d'énergie doit, elle aussi, faire l'objet d'une réflexion en vue d'une éventuelle harmonisation entre disciplines. En effet, selon les disciplines et selon les questions posées par ces disciplines aux différentes situations, il est possible de trouver différentes catégories d'énergies qui peuvent se recouvrir : énergies fossiles/non fossiles ; énergies renouvelables/non renouvelables ; énergie chimique, mécanique, thermique, nucléaire, biomasse ; primaire/secondaire, etc.

S'il semble difficile dans ce cas de trouver une catégorisation commune à différentes disciplines, du fait que ces catégorisations relèvent de questions différentes, il semble néanmoins nécessaire, d'un point de vue didactique, d'étudier les conditions favorisant la compréhension des différentes catégorisations via une comparaison de celles-ci à travers les différentes disciplines. La coexistence de différentes catégorisations possibles ne constitue *a priori* pas une contradiction qui pourrait s'ériger en obstacle à la construction d'un concept scolaire cohérent de l'énergie.

### **3.6. Intérêts à étudier des situations dans plusieurs disciplines : élargir le référent empirique et travailler sur des tâches complexes**

Au-delà même du simple intérêt à étudier la possibilité d'un enseignement cohérent et pluridisciplinaire de l'énergie que nous venons de développer ci-dessus, l'étude comparée de situations issues de différentes disciplines peut être potentiellement féconde. En effet, lorsque le concept d'énergie est enseigné dans le domaine de la physique ou de la chimie, les situations étudiées sont souvent déjà simplifiées, modélisées. Or, un des intérêts d'étudier des situations dans d'autres disciplines, réside justement dans la complexification de la situation étudiée qui nécessite une

modélisation de la situation pour que les concepts liés à l'énergie puissent être mobilisés afin de résoudre le problème posé.

Pour illustrer le potentiel didactique d'une analyse énergétique dans une autre discipline, nous allons étudier dans le champ de la biologie, le cas d'une personne qui, bras tendu, maintient une masse dans la même position. Du point de vue biologique, la personne a chaud, son intensité respiratoire augmente, autant de signes qui montrent bien qu'elle dépense de l'énergie pour maintenir cette masse à hauteur constante. En revanche, du point de vue de la physique, puisque la masse reste à la même hauteur, aucune énergie n'est emmagasinée par la masse. Comment est-il possible que la personne dépense de l'énergie pour maintenir une masse qui n'en reçoit pas? Cette situation remet-elle en cause le principe de conservation de l'énergie? Ce problème complexe nécessite une modélisation de la situation.

Pour sortir de cette impasse, il faut considérer que le rendement est nul. La personne dépense de l'énergie pour maintenir le muscle contracté, cette contraction étant, d'un point de vue biologique, nécessaire pour l'exercice d'une force. Le muscle transforme de l'énergie pour se maintenir dans un état de contraction (ce que l'on nomme contraction isométrique). Toute l'énergie dépensée par la personne est ainsi transformée en chaleur par le muscle.

Au-delà de la simple anecdote, cette situation peut être intéressante à interroger sur le plan didactique. En effet, cette situation peut faire partie des situations vécues par les élèves. Ces derniers peuvent ainsi être amenés à penser qu'un humain doit nécessairement dépenser de l'énergie pour exercer une force, ne considérant ainsi que les forces musculaires, seules forces dont on peut penser que les élèves ont spontanément conscience qu'ils les exercent. Si on suppose que les élèves étendent ce raisonnement aux objets inertes, il devient alors possible d'expliquer l'origine de la conception selon laquelle les objets inertes ne peuvent pas exercer de force. En effet, si l'élève part de l'hypothèse selon laquelle un humain doit dépenser de l'énergie pour exercer volontairement une force, il peut être amené, par une généralisation abusive, à considérer qu'une force ne peut être exercée que si le système consomme de l'énergie. Par conséquent, ils ne peuvent par exemple pas comprendre comment un mur peut exercer une force, puisque le mur ne dépense pas d'énergie. Ainsi cette difficulté à concevoir que les objets inertes ne peuvent pas exercer de force, pourrait s'expliquer par la conception suivante : « pour exercer une force, il faut nécessairement dépenser de l'énergie ».

Tout en restant dans le domaine de la biologie, nous allons également explorer la richesse que revêt l'exploration d'un référent empirique inhabituel pour la physique : le corps humain. En effet, l'analyse énergétique présentée ci-dessous du corps humain permet d'illustrer la différence entre un transporteur d'énergie (le sang) et un transformateur d'énergie (le muscle), d'illustrer les fonctions de réservoir et de transformateur et enfin de considérer des systèmes emboîtés : le muscle (transformateur) se situe dans le corps humain. Un premier modèle énergétique pourrait prendre la forme suivante, même si ce premier modèle ne rend pas compte

de l'ensemble des transformations, stockage, transports et transferts d'énergie qui ont lieu dans le corps humain.

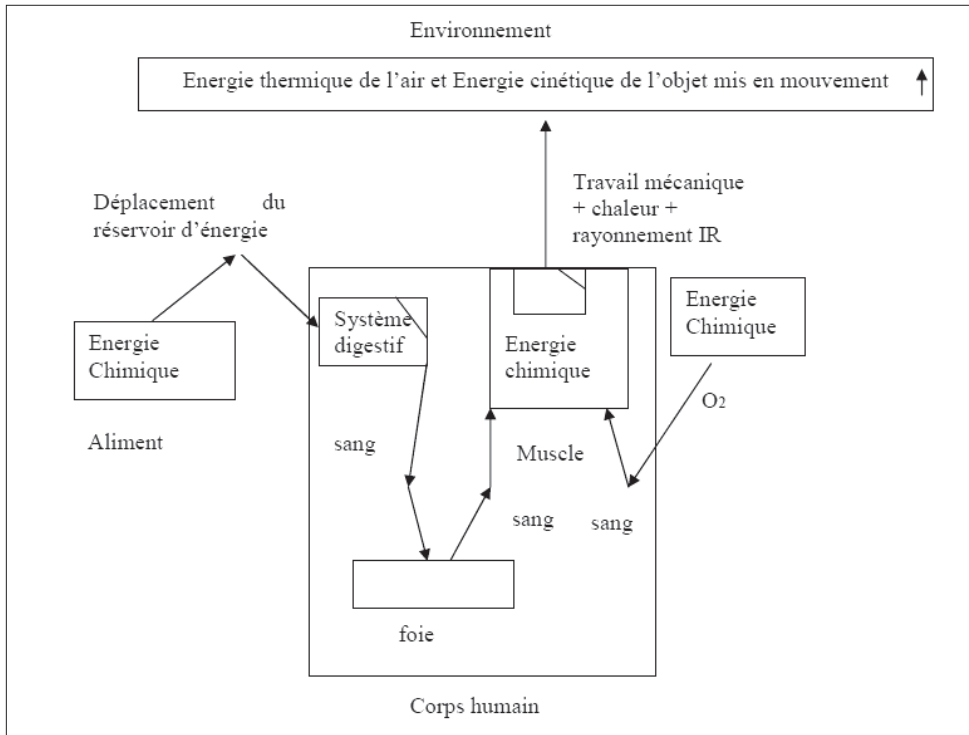


Figure 5 : modélisation d'une chaîne énergétique très simplifiée représentant le corps humain mettant en mouvement un objet après s'être alimenté

Élargir une modélisation des chaînes énergétiques dans différentes disciplines devrait permettre de multiplier les référents empiriques, de proposer des tâches complexes aux élèves et de garantir une construction cohérente du concept d'énergie, à condition que la manière d'aborder l'énergie dans les différentes disciplines soit pensée de manière cohérente.

#### 4. Conclusion : des recherches plurididactiques pour viser une construction progressive, cohérente et pluridisciplinaire du concept scolaire d'énergie

Le concept scolaire d'énergie est pluridisciplinaire. Une première étude des programmes qui utilisent le concept d'énergie nous a permis de montrer le manque de cohérence intra et interdisciplinaire dans les manières d'appréhender ce concept.

Cette première analyse des programmes permet d'imaginer le parcours probablement chaotique d'un élève qui d'une discipline à l'autre ou au sein d'une même discipline, va entendre parler de conservation, de production, de perte, de



transport, de transfert, de distribution d'énergie, d'énergie fossile, d'énergie renouvelable, d'énergie chimique, mécanique, de distribution et va peut-être utiliser des représentations graphiques différentes d'une discipline à l'autre et peut-être aussi d'une année sur l'autre. Il aura à sa charge non seulement la création des liens d'une discipline à l'autre mais aussi la mise en cohérence du réseau conceptuel associé au concept d'énergie.

Il ressort également de cette analyse que le caractère stockable de l'énergie est au cœur de la distinction de plusieurs concepts (transfert d'énergie/énergie, transport d'énergie/transfert d'énergie). La question de son introduction dans le modèle de l'énergie est donc fondamentale dans une perspective curriculaire pour l'ensemble des disciplines mobilisant ce concept.

Cette étude pose également des questions à la recherche en didactique des disciplines sur la manière d'étudier les conditions d'enseignement et d'apprentissage de ces concepts pluridisciplinaires, comme celui de l'énergie. La voie ouverte par cet article est celle d'une recherche plurididactique impliquant des didacticiens de différentes disciplines, cherchant à étudier l'enseignement et l'apprentissage du concept d'énergie pensés de manière cohérente et progressive (en termes de progressions dans les différentes disciplines au cours de la scolarité), de manière intra et extra disciplinaire.

**Ludovic Morge**

[ludovic.morge@univ-bpclermont.fr](mailto:ludovic.morge@univ-bpclermont.fr)

**Christian Buty**

[christian.buty@univ-lyon2.fr](mailto:christian.buty@univ-lyon2.fr)

## BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.
- BÄCHTOLD M. (2014). L'équation Elibérée =  $|\Delta m|c^2$  dans le nouveau programme et les nouveaux manuels de première S. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, n° 10 (voir ce numéro).
- BÄCHTOLD M., MUNIER V., GUEDJ M., LEROUGE A. & RANQUET A. (2014). Quelle progression dans l'enseignement de l'énergie de l'école au lycée? Une analyse des programmes et des manuels. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, n° 10, (voir ce numéro).
- BEVILACQUA F. (2014). Energy: learning from the past. *Science and Education*, n° 23, p. 1231-1243.
- BODZIN A. (2012). Investigating urban eighth-grade students' knowledge of energy resources. *International Journal of Science Education*, vol. 34, n° 8, p. 1255-1275.

- BRUGUIÈRE C., SIVADE A. & CROS D. (1994). Les représentations spatiales des concepts associés à l'énergie comme outil de formation des enseignants. Application à l'analyse du nouveau programme de physique des classes de première de série scientifique. *Didaskalia*, n° 5, p. 105-118.
- BRUGUIÈRE C., SIVADE A. & CROS D. (2002) Quelle terminologie adopter pour articuler enseignement disciplinaire et enseignement thématique de l'énergie, en classe de première de série scientifique? *Didaskalia*, n° 20, p. 67-100.
- CHABALENGULA V. M., SANDERS M. & MUMBA F. (2012). Diagnosing students' understanding of energy and its related concepts in biological contexts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, n° 10, p. 241-266.
- DUIT R. & RHOENECK C. von (1998). Learning and understanding key concepts in electricity. Connecting research in physics education. In A. Tiberghien, E. Jossem & J. Barojas (éd.), *Connecting research in physics education with teacher education. International Commission on Physics Education*. En ligne : <[http://www.iupap-icpe.org/publications/teach1/ConnectingResInPhysEducWithTeacherEduc\\_Vol\\_1.pdf](http://www.iupap-icpe.org/publications/teach1/ConnectingResInPhysEducWithTeacherEduc_Vol_1.pdf)>.
- GUEDJ M. & MAYRARGUE A. (2014). Éclairages historiques sur l'émergence du concept d'énergie. *Recherches en Didactique des sciences et des technologies*, n° 10, (voir ce numéro).
- HERVÉ N., VENTURINI P. & ALBE V. (2014). La construction du concept d'énergie en cours de physique : analyse d'une pratique ordinaire d'enseignement. *Recherches en Didactique des sciences et des technologies*, n° 10, (voir ce numéro).
- LANCOR R. A. (2014). Using student-generated analogies to investigate conceptions of energy: a multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, vol. 36, n° 1, p. 1-23.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette éducation.
- MERCIER-DEQUIDT C. & MORGE L. (2014). Analyse didactique et épistémique d'une analogie mécanique pour l'enseignement de l'électrocinétique. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, vol. 14, n° 2, p. 187-206.
- MARTINAND J.-L. (1989) Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences techniques. *Les sciences de l'éducation, pour l'ère nouvelle*, n° 2, p. 23-29.
- MULHALL P., MCKITTRICK B. & GUNSTONE R. (2001). A perspective on the resolution of confusions in the teaching of electricity. *Research in Science Education*, vol. 31, n° 4, p. 575-587.
- ORANGE C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie, quels apprentissages pour le lycée?* Paris : Presses universitaires de France.

- PAPADOURIS N. & CONSTANTINO C. P. (2014). An exploratory investigation of 12-years-old students' ability to appreciate certain aspects of the Nature Of Science through a specially designed approach in the context of energy. *International Journal of Science Education*, vol. 36, n°5, p. 755-782.
- ROBARDET G. & GUILLAUD J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris, Presses universitaires de France, 232 p.
- SCHNITTKA C. & BELL R. (2011). Engineering design and conceptual change in Science: addressing thermal energy and heat transfer in eighth grade. *International Journal of Science Education*, vol. 33, n° 13, p. 1861-1887.
- TANG K.-S. (2011). Reassembling curricular concepts. A multimodal approach to the study of curriculum and instruction. *International Journal of Science and Mathematics Education*, n°9, p. 109-135.
- TANG K.-S., TAN S. C. & YEO J. (2011). Students' multimodal construction of the work-energy concept. *International Journal of Science Education*, vol. 33, n° 13, p. 1775-1804.
- TIBERGHIE A. (2008). Connaissances naïves et didactique de la physique. In J. Lautrey, S. Rémi-Giraud, E. Sander & A. Tiberghien (éd.), *Les connaissances naïves*, Paris : Armand Colin, p. 103-153.