



RDST

Recherches en didactique des sciences et des technologies

10 | 2014
Énergies

Quelle progression dans l'enseignement de l'énergie de l'école au lycée ? Une analyse des programmes et des manuels

*What progression for the teaching of energy from primary to secondary school?
An analysis of the official instructions and textbooks*

Manuel Bächtold, Valérie Munier, Muriel Guedj, Alain Lerouge et André Ranquet



Édition électronique

URL : <http://rdst.revues.org/932>

DOI : 10.4000/rdst.932

ISSN : 2271-5649

Éditeur

ENS Éditions

Édition imprimée

Date de publication : 31 décembre 2014

Pagination : 63-91

ISBN : 978-2-84788-508-8

ISSN : 2110-6460

Référence électronique

Manuel Bächtold, Valérie Munier, Muriel Guedj, Alain Lerouge et André Ranquet, « Quelle progression dans l'enseignement de l'énergie de l'école au lycée ? Une analyse des programmes et des manuels », *RDST* [En ligne], 10 | 2014, mis en ligne le 31 décembre 2016, consulté le 23 mars 2017. URL : <http://rdst.revues.org/932> ; DOI : 10.4000/rdst.932

Quelle progression dans l'enseignement de l'énergie de l'école au lycée?

Une analyse des programmes et des manuels

Manuel BÄCHTOLD

Université Montpellier 2, LIRDEF

Valérie MUNIER

Université Montpellier 2, LIRDEF

Muriel GUEDJ

Université Montpellier 2, LIRDEF

Alain LEROUGE

Université Montpellier 2, LIRDEF

André RANQUET

Université Montpellier 2

RÉSUMÉ • Des travaux récents en didactique des sciences ont renouvelé la question de l'enseignement de l'énergie en pointant la nécessité d'une progression tout au long de la scolarité. En outre, on assiste, en France comme dans de nombreux autres pays, à une évolution de l'enseignement des sciences qui intègre toujours plus explicitement la question des liens sciences-société. Les enjeux éducatifs liés à l'énergie sont donc à la fois de construire progressivement le concept scientifique mais aussi d'éduquer à l'énergie dans une perspective de développement durable. Comment se positionnent à cet égard les programmes et les manuels français du primaire et du secondaire? Quels choix de transposition didactique opèrent-ils? Dans cet article, nous analysons ces programmes et une sélection de manuels. Dans ses grandes lignes, la progression proposée apparaît conforme à ce qui est recommandé dans la littérature : le principe de conservation fait figure de point d'aboutissement et les différents aspects de l'énergie nécessaires pour le comprendre sont introduits progressivement à partir du primaire. Cependant, la terminologie employée n'offre pas toujours les conditions pour une différenciation claire de ces différents aspects. De plus, plusieurs questions souvent débattues dans la littérature semblent être ignorées : entrée par les transformations ou les transferts, place de la conception substantialiste, mise en avant de la fonction d'unification, rupture entre les conceptions scientifique et

sociétale. Nous discutons de l'importance de prendre en charge ces différents points pour permettre l'apprentissage du concept d'énergie.

MOTS-CLÉS • énergie, progression, programmes, manuels scolaires, développement durable

ABSTRACT • What progression for the teaching of energy from primary to secondary school? An analysis of the official instructions and textbooks

Recent studies in science education have renewed the question of how to teach the concept of energy by pointing out the necessity of a progression throughout schooling. In addition, in France as well as in numerous other countries, science education is addressing more and more explicitly the links between science and society. So the educational issues around teaching energy are both to progressively construct the scientific concept and to “educate to” energy in relation to sustainable development. In this regard, what is the stance of the French programs and textbooks of primary and secondary school? What choices are made in adapting and reformulating scientific knowledge? In this paper, we analyse these programs and a selection of textbooks. Broadly speaking, we found that the proposed progression seems to be in line with what is recommended in the literature: the principle of energy conservation appears as an end point and the different aspects of energy necessary for understanding the concept are introduced progressively, starting from primary school. However, the terminology used does not always provide conditions for a clear differentiation of these different aspects. Furthermore, several questions often debated in the literature are not included: beginning instruction in the concept by explaining energy transformation or transfer, defining the role of the substantialist conception, highlighting the unifying function, or discussing the radical difference between scientific and societal conceptions of energy. This paper discusses the importance of taking these points into account in order to support the learning of the concept of energy.

KEYWORDS • energy, progression, programs, textbooks, sustainable development

Introduction

La question de l'enseignement de l'énergie a fait l'objet de très nombreuses études (pour une vue d'ensemble, cf. Millar, 2005 ; Doménech *et al.*, 2007 ; Bächtold & Guedj, 2014). Récemment, plusieurs auteurs (Lee & Liu, 2010 ; Colonesse *et al.*, 2012 ; Neumann *et al.*, 2013) ont pointé la nécessité d'une « progression » tout au long de la scolarité, du début du primaire à la fin du secondaire. Ils ont ainsi ouvert le débat de la stratégie didactique *sur le long terme* la plus pertinente. Cet article propose une analyse des programmes et des manuels français du primaire et du secondaire à la lumière de

la littérature de recherche. Quelle progression de l'enseignement de l'énergie proposent-ils? Cette progression peut-elle être rapprochée de l'une ou l'autre de celles exposées dans cette littérature? Notre objectif est de mettre en évidence les logiques qui structurent les textes officiels et l'interprétation qui en est faite dans les manuels.

Une nouveauté est à prendre en compte dans cette analyse. En effet, les textes officiels français récents (circulaires ministérielles et programmes scolaires) intègrent toujours plus explicitement la question des liens sciences-société et mettent en avant l'importance de l'éducation au développement durable (EDD), et en particulier aux questions sociétales liées à l'énergie (nous parlerons à cet égard d'« éducation à l'énergie »). Deux motivations distinctes peuvent ainsi expliquer la grande place accordée à l'énergie dans les programmes français et en particulier dans les nouveaux programmes du lycée (MEN, 2010, 2011) : d'une part, la grandeur énergie joue un rôle fondamental en physique et plus largement dans l'ensemble des sciences, d'autre part, l'énergie se trouve au cœur des débats de société liés au développement durable. L'analyse que nous entendons mener des programmes et manuels français sur la question de la progression de l'enseignement de l'énergie se doit d'intégrer cette nouvelle donne. De quelle manière l'éducation à l'énergie s'articule-t-elle à l'enseignement des aspects proprement scientifiques de cette grandeur ?

Pour tenter de répondre à ces questions, nous présentons ici une analyse en quatre temps :

- synthèse de la littérature sur les difficultés de l'apprentissage du concept d'énergie afin de justifier la nécessité d'une progression dans son enseignement ;
- synthèse de la littérature sur les différentes stratégies didactiques proposées concernant la progression de l'enseignement de l'énergie afin d'élaborer une grille d'analyse ;
- analyse des programmes et manuels français actuels aux différents niveaux de la scolarité ;
- discussion des résultats.

1. Les difficultés de l'apprentissage de l'énergie

Que ce soit pour les élèves du primaire ou du secondaire, l'apprentissage du concept scientifique d'énergie s'avère très difficile, et ce pour plusieurs raisons. Premièrement, le terme « énergie » est polysémique. Diverses significations lui sont attachées selon le domaine ou le contexte. Par exemple, le terme ne revêt pas la même signification dans le domaine de la thermodynamique, dans le domaine de l'économie ou dans la vie de tous les jours lorsque l'on parle de la forme physique d'une personne. Les élèves sont ainsi confrontés à une « discontinuité abrupte dans le mode de pensée » (Solomon, 1983), voire à plusieurs « mondes » (Lijnse, 1990). Pour accéder au concept scientifique d'énergie, ils doivent s'émanciper de leurs conceptions initiales construites dans le cadre de la vie quotidienne (Watts, 1983 ; Gilbert & Watts, 1983 ; Duit, 1984 ; Driver & Warrington, 1985 ; Agabra, 1985 ; Gilbert & Pope, 1986 ; Trellu & Toussaint,

1986 ; Trumper, 1993 ; Ballini, Robardet & Rolando, 1997 ; Bruguière, Sivade & Cros, 2002) ou prendre conscience des limites de leur domaine d'application. En particulier, ils doivent être en mesure de dépasser la conception substantialiste de l'énergie (c'est-à-dire l'énergie conçue comme une entité indépendante d'un système) qui se trouve en rupture avec le concept scientifique d'énergie (ce dernier désignant une grandeur relative à un système et dépendante de son état).

Deuxièmement, dans le seul domaine de la physique, la définition du concept d'énergie reste débattue. Lors de l'établissement du principe de conservation de l'énergie au milieu du XIX^e siècle, le concept a été défini par Thomson et Rankine comme la capacité d'un système à produire du travail (Roche, 2003). Bien que jugée incomplète et discutée dans le contexte de la période (Mach, 1883 ; Poincaré, 1908 ; Ostwald, 1910), cette définition est demeurée une référence – la simplicité de cette dernière justifiant sans doute cette permanence. Plus récemment, dans le cadre de l'enseignement, certains auteurs (Sexl, 1981 ; Duit, 1981 ; Trumper, 1991) ont critiqué cette définition notamment parce qu'elle suggère l'idée que les effets susceptibles d'être produits par un système possédant de l'énergie sont uniquement de nature mécanique. En réaction à cette critique, certains auteurs (Warren, 1991 ; Hobson, 2004 ; McIldowie, 2004) ont invoqué le fait qu'une telle définition est indispensable pour penser les liens entre les différentes formes d'énergie et pour justifier le principe de conservation de l'énergie. D'autres (Chisholm, 1992 ; Bunge, 2000 ; Doménech *et al.*, 2007) ont modifié légèrement la définition en parlant de capacité d'un système à produire des « changements »¹. L'absence de consensus sur la définition de l'énergie se traduit par des propositions différentes dans l'enseignement, voire parfois par une absence de définition, nous y reviendrons plus loin.

Troisièmement, le concept d'énergie est l'un des concepts les plus abstraits de la physique. Ce point n'est pas sans lien avec le précédent. Si l'on admet la définition en termes de *capacité* à produire du travail ou des changements, l'énergie désigne une propriété qui par nature est potentielle ou, autrement dit, qui doit être pensée en référence à des effets (c'est-à-dire du travail ou des changements) qui ne sont que virtuels (McIldowie, 2004). Si l'on s'abstient de définir l'énergie, son caractère abstrait n'en est que plus grand : elle désigne alors simplement une quantité numérique qui est conservée (Feynman, 1963). La grandeur énergie est très abstraite également parce que sa mesure expérimentale est indirecte. Sa valeur ne peut être déterminée que par l'intermédiaire de la mesure d'autres grandeurs, comme celles de masse, de charge électrique, de vitesse (dans le cas d'un corps matériel) ou de fréquence (dans le cas d'un photon). Enfin, sous le concept d'énergie nous subsumons, non pas un type particulier de phénomènes, mais une grande diversité de phénomènes qui en apparence n'ont que peu de liens (phénomènes mécaniques, thermiques, chimiques, électriques, nucléaire, etc.).

1 Il s'agit en fait de la définition générale donnée par Rankine (1855) que ce dernier entendait rendre ensuite plus précise du point de vue de la physique en introduisant la notion de travail.

Quatrièmement, le concept d'énergie est imbriqué dans un réseau conceptuel très riche. D'une part, il est mobilisé explicitement par d'autres concepts : ceux de forme d'énergie (cinétique, potentielle, thermique, etc.), de mode de transfert d'énergie (travail, transfert thermique, etc.), de dissipation d'énergie, de source d'énergie (le Soleil, le pétrole, le vent, etc.), etc. D'autre part, le concept d'énergie est étroitement relié à d'autres concepts de la physique, comme ceux de force, de température, de puissance, d'entropie, etc. Il s'agit, pour les élèves, d'apprendre à distinguer ces différents concepts, qui ont tendance à être confondus. C'est le cas en particulier de la force et de l'énergie (Watts, 1983 ; Trelu & Toussaint, 1986), de la chaleur et de la température (Lewis & Linn, 1994 ; Harrison, Grayson & Treagust, 1999), ou encore des formes d'énergie et des modes de transfert d'énergie – le travail et la chaleur étant parfois considérés à tort comme des formes d'énergie (Cotignola *et al.*, 2002 ; Papadouris & Constantinou, 2011).

Par ailleurs, le concept d'énergie est indissociable du principe de conservation de l'énergie, dont l'apprentissage implique des prérequis (Lee & Liu, 2010 ; Neumann *et al.*, 2013 ; Bächtold & Guedj, 2014). En particulier, les élèves doivent maîtriser les phénomènes de conversion (ou transformation) d'énergie d'une forme en une autre, de transfert d'énergie d'un système à un autre et de dissipation d'énergie. Pour ce faire, les confusions entre formes et sources ou entre transformation et transfert d'énergie doivent être éliminées. Le système étudié doit être clairement identifié et distingué de l'environnement avec lequel il peut échanger de l'énergie. Enfin, les élèves doivent avoir une certaine maîtrise sur le plan des outils mathématiques (pour déterminer quantitativement l'énergie transférée, le travail produit, la vitesse acquise, etc.). Ces nombreux prérequis expliquent sans doute que peu d'élèves soient capables de mobiliser le principe et de l'appliquer correctement pour résoudre un problème (Duit, 1981 ; Driver & Warrington, 1985 ; Solomon, 1985 ; Trumper, 1990 ; Neumann *et al.*, 2013).

À cela, il faut ajouter que la compréhension du principe de conservation se heurte à la conception de l'énergie véhiculée dans les médias lorsqu'il est question de la gestion de l'énergie : les expressions employées comme celles de « production », de « consommation » ou de « perte » d'énergie semblent aller à l'encontre de ce principe (Vince & Tiberghien, 2014 ; Bächtold & Munier, 2014).

2. Les stratégies didactiques pour une progression de l'enseignement de l'énergie

2.1. Les notions de progression et de transposition didactique

En raison de ces nombreuses difficultés et des nombreux prérequis à la maîtrise du principe de conservation, une *progression* dans l'enseignement de l'énergie est indispensable, comme le pointent notamment Lee et Liu (2010), Colonesse *et al.* (2012) et Neumann *et al.* (2013).

La notion même de « progression » de l'enseignement de l'énergie mérite d'être précisée. Deux aspects de cette progression peuvent être distingués. Le premier

concerne la sélection des notions et contenus associés à l'énergie qui sont introduits à chaque niveau. On peut ainsi envisager un enrichissement progressif du primaire au secondaire. Le second aspect concerne le niveau de formulation et le choix du vocabulaire. À cet égard, une différenciation en fonction du niveau scolaire peut être proposée. Ce sont deux aspects qu'il convient de prendre en compte pour penser une progression de l'enseignement permettant une conceptualisation progressive par les élèves des notions et contenus associés à l'énergie.

Notons que ces deux aspects de la progression renvoient à la notion de transposition didactique, laquelle décrit la transformation que subissent les savoirs savants (Chevallard, 1985) et les savoirs associés aux pratiques sociales de référence (Martinand, 1986) au niveau de leur contenu, de leur formulation et de leur structuration, afin de les rendre accessibles aux élèves et de permettre leur apprentissage. Toutefois, ils ne s'y réduisent pas. Ainsi, avec la notion de progression tout au long de la scolarité, il est question d'une transposition didactique pensée *sur le long terme* et non simplement pour un niveau donné (comme c'est le cas dans de nombreuses recherches en didactique). Nous mobilisons ici cette notion de transposition didactique parce qu'elle soulève les deux questions suivantes : quelles sont les étapes de la transformation des savoirs et qui sont les acteurs de ces différentes étapes ?

Dans le cadre de cet article, nous avons choisi de nous pencher sur les deux étapes de cette transposition qu'opèrent respectivement les auteurs des programmes et les auteurs des manuels scolaires. Pourquoi s'intéresser aux programmes ? Parce qu'ils traduisent les choix de transposition externe et conditionnent fortement les étapes suivantes du fait de leur statut prescriptif. Ils constituent les éléments du curriculum « prescrit » (Perrenoud, 1993), c'est-à-dire du parcours d'enseignement pensé ou idéalisé par les acteurs du système éducatif et jouant le rôle de norme pour les enseignants. Pourquoi analyser les manuels scolaires ? Premièrement, les manuels constituent des ressources pour les enseignants sur lesquelles ils peuvent s'appuyer pour interpréter les instructions officielles. Ils constituent ainsi une référence pour les enseignants. Deuxièmement, les manuels proposent des exemples de séquences que les enseignants sont susceptibles de mettre en œuvre en classe. Bien que leur étude ne préjuge pas de ce qui est réalisé dans les classes, les manuels sont des indicateurs intéressants de par leur position entre prescription et réalité de la classe. À noter que nous faisons ici le choix de ne pas étudier les modalités particulières d'enseignement de l'énergie (démarche d'investigation, utilisation des chaînes énergétiques, utilisation de l'histoire des sciences, etc.) ainsi que la littérature abondante à ce sujet (pour une revue, cf. Millar, 2005 ; Bächtold & Guedj, 2014). Une telle étude exigerait une recherche à part entière.

2.2. Synthèse de la littérature

Nous présentons ici une synthèse de la littérature de recherche afin d'identifier les différentes stratégies didactiques qui ont été proposées pour établir une progression de l'enseignement de l'énergie, synthèse sur laquelle nous nous appuyerons ensuite pour établir notre grille d'analyse des programmes et des manuels.

Par-delà la diversité des stratégies proposées dans la littérature, plusieurs points font consensus. En particulier, tous les auteurs s'accordent sur l'idée que l'enseignement de l'énergie doit débiter au primaire par une approche qualitative, comme le suggèrent par exemple Millar (2005), Kaper et Goedhart (2002), Nordine, Krajcik et Fortus (2011) ou encore Colonnese *et al.* (2012). À cette approche qualitative doit se substituer ensuite dans le secondaire une approche quantitative associée au principe de conservation de l'énergie, lequel est communément considéré comme le point d'aboutissement de l'enseignement de l'énergie (Lee & Liu, 2010 ; Neumann *et al.*, 2013)². Les chercheurs en didactique des sciences prennent ainsi acte de l'idée mise en avant par les épistémologues et historiens des sciences selon laquelle le concept d'énergie tel qu'il est compris et utilisé aujourd'hui en physique est intimement lié à celui du principe de conservation de l'énergie (Elkana, 1974 ; Balibar, 2010).

Un autre point qui semble consensuel est le faisceau de concepts liés à l'énergie que les élèves doivent s'approprier pour pouvoir aborder le principe de conservation. Les différents auteurs s'accordent sur plusieurs « aspects » de l'énergie, qu'on peut considérer comme des « ingrédients » essentiels et qu'un enseignement cohérent de l'énergie se doit d'intégrer progressivement : les sources et les formes d'énergie, les notions de transformation, de transfert, de dissipation et de conservation de l'énergie. Ces différentes étapes sont pointées et détaillées notamment par Lee et Liu (2010) et Neumann *et al.* (2013).

Cependant, les auteurs ne mettent pas tous l'accent sur les mêmes aspects. Certains considèrent qu'on ne peut admettre la validité du principe de conservation sans comprendre le phénomène de dissipation – les expériences effectives de transformations ou de transferts d'énergie apparaissant comme étant non conservatives si la dissipation n'est pas mobilisée (Duit, 1984 ; Solomon, 1985 ; Goldring & Osborne, 1994 ; Neumann *et al.*, 2013).

D'après d'autres auteurs, il est également très important pour comprendre ce principe d'identifier le système et de le distinguer de l'environnement avec lequel il échange de l'énergie (Trellu & Toussaint, 1986 ; Arons, 1999 ; Van Huis & Van den Berg, 1993).

Plusieurs auteurs préconisent une entrée par les transformations d'énergie, et ce, dès le primaire ou au début du secondaire (Nordine, Krajcik & Fortus, 2011 ; Lee & Liu, 2010 ; Colonnese *et al.*, 2012). Un argument avancé est que cette notion de transformation peut facilement être utilisée pour décrire des phénomènes non idéalisés qui sont observables par les élèves dans leur vie quotidienne (Nordine, Krajcik & Fortus, 2011). Dans le cadre de cette stratégie *via* les transformations, on peut identifier plusieurs variantes : aborder les transformations de l'énergie sans d'emblée définir le système (Lee & Liu, 2010) ou introduire simultanément les notions

2 Par exemple, Lee et Liu (2010) écrivent : « to be scientifically complete and sophisticated, understanding should be based on energy as a conserved quantity ». (« pour être complet et précis du point de vue scientifique, la compréhension [du concept] devrait être basée sur la notion d'énergie comme une grandeur conservée »).

de transformation et de système afin d'être en adéquation avec la conception scientifique qui sera enseignée dans le secondaire (Colonnese *et al.*, 2012).

D'autres suggèrent de commencer l'enseignement de l'énergie par les transferts d'énergie plutôt que par les transformations (Ellse, 1988 ; Vince & Tiberghien, 2012). Elle estime notamment qu'une entrée par les multiples formes de l'énergie risque d'apporter de la confusion par rapport à la distinction jugée fondamentale entre les formes cinétique et potentielle de l'énergie.

Un autre point fait davantage débat. Certains auteurs proposent de débiter l'enseignement de l'énergie en faisant une analogie avec la matière, c'est-à-dire en présentant l'énergie *comme* une « substance quasi matérielle ». Duit (1987) notamment considère qu'une telle analogie constitue une aide à l'apprentissage de l'énergie, dans la mesure où elle rend ce concept abstrait plus « concret » ou plus « tangible ». D'après Millar (2005), elle permet en particulier de concevoir que l'énergie puisse être « stockée » ou « transférée » d'un endroit à un autre. Cette stratégie se trouve en rupture avec le point de vue d'auteurs (Warren, 1982) pour qui un enseignement rigoureux de l'énergie doit nécessairement faire appel à la grandeur *travail*, dont la maîtrise n'est pas à la portée des élèves du primaire voire des premières années du secondaire. D'autres s'opposent aussi à cette approche et font du dépassement de la conception substantialiste un enjeu dès l'école primaire (Colonnese *et al.*, 2012). Il convient d'après ces auteurs de présenter d'emblée l'énergie comme étant la « propriété d'un système ».

Par ailleurs, certains auteurs considèrent qu'il est essentiel de mettre en avant la fonction d'unification du concept d'énergie, ce qui implique de donner une définition de l'énergie en termes de capacité d'un système à produire des changements (Bächtold & Guedj, 2014). D'après ces auteurs, seule une telle définition est susceptible de justifier le rapprochement entre des grandeurs qui de prime abord décrivent des réalités physiques très différentes, ce qui conduit certains élèves à percevoir les différentes formes d'énergie comme des grandeurs distinctes (Millar, 2005).

Le dernier point qui nous intéresse ici concerne l'articulation entre les approches scientifique et sociétale de l'énergie. Plusieurs auteurs se sont interrogés sur la manière dont on peut envisager une progression en prenant en compte ces deux approches (ou cette articulation). Dans le cadre d'une approche dite « globale », Doménech *et al.* (2007) formulent un certain nombre de propositions pour poser les bases d'une refondation de l'enseignement de l'énergie mettant l'accent sur les relations entre sciences, technologie, société et environnement (STSE). Ils s'appuient notamment sur les travaux de Gil-Pérez et Vilches (2005) qui plaident pour une immersion des futurs citoyens dans une culture techno-scientifique : « This is necessary for : (i) the education of critical citizens who will have to participate in decision-making [...] (ii) the education of future scientists and technicians our society requires. »³. Vince et Tiberghien (2012, 2014) se sont aussi intéressés à l'enseignement

3 « Ceci est nécessaire pour : (i) l'éducation de citoyens critiques qui auront à participer aux prises de décision [...] (ii) l'éducation de futurs scientifiques et techniciens dont notre société a besoin ».

de l'énergie en physique en lien avec la question sociétale du défi énergétique. Ils considèrent qu'actuellement dans l'enseignement général français les questions socialement vives liées à l'énergie ne sont pas enseignées en tant que telles et ils développent des séquences d'enseignement visant à concilier enjeu de société et enjeu d'apprentissage. Plus récemment, Bächtold, Munier et Lerouge (2013) ont envisagé plusieurs types d'articulations possibles entre enseignement du concept scientifique d'énergie et éducation à l'énergie et mené une première étude sur celles qui sont privilégiées par les enseignants de 3^e et de 1^{re} S.

2.3. Grille d'analyse

Nous exploitons à présent cette synthèse de la littérature pour établir une grille d'analyse des programmes et manuels français. Rappelons qu'il s'agit de déterminer quelle est la progression de l'enseignement de l'énergie proposée et si cette progression peut être rapprochée de l'une ou l'autre de celles défendues dans la littérature de recherche.

Nous analysons dans un premier temps les contenus des programmes selon les différents niveaux pour examiner la manière dont sont introduits les différents « ingrédients » requis pour aboutir au principe de conservation de l'énergie, s'ils sont présents ou non et à quel niveau ils apparaissent. En particulier, nous cherchons à savoir si, lors de l'introduction du principe de conservation de l'énergie, les programmes et manuels mettent ou non l'accent sur l'identification du système et si cette introduction se fait simultanément ou pas avec celle de la notion de dissipation.

Nous analysons les programmes et manuels en cherchant à voir s'ils privilégient une entrée à partir des transformations d'une forme d'énergie en une autre ou à partir des transferts énergétiques.

Nous étudions la façon dont les programmes et manuels se positionnent par rapport à la conception substantialiste de l'énergie et s'ils le font explicitement ou non.

Un autre point sur lequel porte notre analyse est la place accordée à la fonction d'unification du concept d'énergie. Nous étudions si celle-ci est abordée explicitement ou non, notamment en analysant les définitions données (ou non) de l'énergie par les programmes et les manuels.

Enfin, nous analysons la façon dont la partie traitant des questions sociétales liées à l'énergie est articulée avec l'enseignement du concept scientifique d'énergie : quelles sont les questions sociétales abordées ? Comment sont-elles traitées par les programmes et manuels de physique ? Les points de rupture apparents entre les deux conceptions de l'énergie évoquées plus haut (la conception scientifique et celle véhiculée dans les débats de société) sont-ils pris en charge explicitement ou pas, au risque alors de faire obstacle à l'enseignement du concept scientifique d'énergie ?

La présentation que nous faisons de nos analyses ci-dessous est structurée en fonction de ces différents points. Pour certains d'entre eux, nous précisons notre grille d'analyse dans la section correspondante. Les analyses des programmes et des manuels sont regroupées.

3. Analyse des programmes et des manuels

3.1. Le corpus

Nous analysons les instructions officielles en vigueur à l'école élémentaire, au collège et au lycée : socle commun de connaissances et de compétences (MEN, 2006), programmes et progressions en sciences expérimentales à l'école (MEN, 2008a, 2012) et programmes de physique-chimie au collège et au lycée (MEN, 2008 b, 2010, 2011).

À l'école primaire, l'énergie relève des programmes du cycle 3 (grades 3 à 5). Au collège, l'énergie est abordée en 5^e et 4^e (grades 7 et 8) mais son enseignement est davantage développé en classe de 3^e (grade 9) où on la rencontre dans différents domaines (chimie, électricité et mécanique). Il y a ensuite une rupture : l'énergie n'est pas abordée en physique-chimie dans le programme de seconde (grade 10)⁴. On retrouve enfin le concept d'énergie dans les programmes de physique-chimie des classes de première et de terminale de la filière générale scientifique (ci-après 1^{re} S et TS, grades 11 et 12)⁵. Les programmes analysés sont donc ceux du cycle 3 de l'école et ceux du collège, des classes de 1^{re} S et TS en physique-chimie.

Concernant les manuels scolaires⁶, le corpus est constitué d'une sélection de manuels conformes aux programmes en vigueur⁷ : 4 manuels pour l'école élémentaire (éditeurs Bordas, Hachette, Magnard et Nathan, complétés par les livres du maître), 7 pour la 3^e (éditeurs Belin, Bordas, Hachette, Hatier, Magnard, et Nathan), 5 pour la 1^{re} S (éditeurs Belin, Bordas, Hachette, Hatier et Nathan) et 5 pour la TS (éditeurs Belin, Bordas, Hachette, Hatier et Nathan). Cette étude ne vise pas à l'exhaustivité. Toutefois les manuels les plus couramment rencontrés dans les classes pour ces différents niveaux ont été analysés.

3.2. Les contenus liés à l'énergie dans les programmes

Afin d'avoir une vue d'ensemble sur l'enseignement de l'énergie dans les programmes, nous listons les contenus correspondant aux différents niveaux dans le tableau ci-dessous. Notons que les termes figurant dans ce tableau sont ceux employés par les programmes.

4 Notons qu'elle a une place relativement importante à ce niveau dans le programme de SVT, mais nous nous limitons dans cet article aux programmes de physique-chimie.

5 S'agissant du lycée, nous nous limitons dans cet article aux programmes de la filière générale scientifique. Notons que les programmes de la filière littéraire accordent aussi une place importante à l'enseignement de l'énergie, avec une approche assez différente de celle privilégiée par la filière scientifique, mais cela n'est pas développé ici.

6 Notons que pour le collège, nous nous limitons pour les analyses de manuels à la classe de 3^e.

7 Pour les références précises concernant ces manuels, voir la bibliographie.

Cycle 3	<ul style="list-style-type: none"> – sources d'énergie, transformation de l'énergie, différentes énergies, énergies fossiles et renouvelables, production d'énergie électrique, transport de l'énergie, consommation de l'énergie, économies d'énergie, isolation thermique
Collège 5 ^e	<ul style="list-style-type: none"> – augmentation de la température et apport d'énergie, changements d'état et transferts d'énergie – générateur et transfert d'énergie électrique, conversion d'énergie électrique en d'autres formes, énergie lumineuse
Collège 4 ^e	<ul style="list-style-type: none"> – combustion et libération d'énergie – générateur, transfert sous forme de chaleur (transfert thermique) – absorption de lumière et réception d'énergie, transfert d'énergie reçue à l'extérieur sous forme de chaleur – énergie lumineuse
Collège 3 ^e	<ul style="list-style-type: none"> – énergie chimique, réservoir d'énergie, source d'énergie, transfert d'énergie, conversion d'énergie chimique en d'autres formes d'énergie – alternateur, conversion d'énergie mécanique en énergie électrique, sources d'énergie renouvelables ou non, puissance électrique, watt, joule – énergie de position, énergie de mouvement appelée énergie cinétique, énergie mécanique
Lycée 1 ^{re} S	<p><i>Partie Observer :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – quantification des niveaux d'énergie de la matière – énergie d'un photon <p><i>Partie Comprendre :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – défaut de masse et énergie libérée [lors d'une réaction nucléaire] – transfert thermique, aspects énergétiques d'une variation de température et d'un changement d'état – énergie libérée lors d'une combustion – énergie cinétique, énergie potentielle de pesanteur, conservation ou non de l'énergie mécanique, frottements, transferts thermiques et dissipation d'énergie, formes d'énergie, principe de conservation de l'énergie <p><i>Partie Agir :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – ressources énergétiques renouvelables ou non, transport et stockage de l'énergie, production de l'énergie électrique, puissance, conversion d'énergie dans un générateur et un récepteur, effet Joule, chaîne énergétique, conservation [de l'énergie], dégradation [de l'énergie] – stockage et conversion de l'énergie chimique, énergie libérée lors d'une combustion
Lycée TS	<p><i>Partie Comprendre :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – travail d'une force, force conservative, énergie potentielle, forces non conservatives, frottements, énergie cinétique, énergie mécanique, dissipation d'énergie – notions de système et d'énergie interne, capacité thermique, transferts thermiques, notion d'irréversibilité, bilan énergétique faisant intervenir transfert thermique et travail – transferts quantiques d'énergie, laser, transitions d'énergie électroniques et vibratoires <p><i>Partie Agir :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – enjeux énergétiques, nouvelles chaînes énergétiques, économies d'énergie dans les domaines de l'habitat et du transport

Tableau 1 : les contenus liés à l'énergie dans les programmes en fonction du niveau scolaire

3.3. Les « ingrédients » pour l'apprentissage du principe de conservation dans les programmes et les manuels

Comme cela apparaît dans le tableau 1, les *sources d'énergie* (ou « ressources énergétiques ») figurent dans les programmes au cycle 3, en 3^e et en 1^{re} S. Que ce soit dans les programmes ou les manuels, elles sont toujours abordées dans la perspective de l'éducation à l'énergie. L'un des objectifs récurrents est de distinguer les sources d'énergie renouvelables et non renouvelables.

Les différentes *formes d'énergie* sont introduites progressivement tout au long de la scolarité : « énergie électrique » (dès le cycle 3), énergie lumineuse (à partir de la 5^e), énergie chimique (à partir de la 3^e), énergies mécanique, potentielle de pesanteur (« de position ») et cinétique (à partir de la 3^e), énergie interne (en TS). Plusieurs confusions sont à signaler. Premièrement, quel que soit le niveau, on retrouve la confusion pointée par Vince et Tiberghien (2014) dans les programmes et manuels de terminale entre forme et mode de transfert de l'énergie. Par exemple, l'usage par les programmes et les manuels de l'expression « énergie électrique », sans que celle-ci soit définie, peut contribuer à une telle confusion. En effet, selon les auteurs, cette expression désigne tantôt une forme d'énergie (l'énergie électrique pouvant être considérée comme une instance particulière de l'énergie électromagnétique, c'est-à-dire la forme d'énergie associée à un rayonnement électromagnétique), tantôt un mode de transfert d'énergie (l'énergie électrique étant alors assimilée au travail électrique). Deuxièmement, on observe dans certains manuels du primaire une confusion entre source et mode de transfert à propos de l'électricité : trois manuels sur quatre considèrent l'électricité comme une source d'énergie, les deux derniers considérant qu'il s'agit d'une source secondaire d'énergie. Troisièmement, dans le programme du cycle 3, le terme « énergie » est employé de façon ambiguë : dans certains cas, pour parler des formes d'énergie (« connaître différentes énergies »), dans d'autres, pour parler des sources d'énergie (« classer les énergies selon qu'elles soient ou non renouvelables »). Toutefois, les manuels étudiés emploient généralement le terme « source » à bon escient, sans confusion avec les formes d'énergie.

Par ailleurs, remarquons que le programme de 1^{re} S n'explicite pas à chaque fois les formes d'énergie qui sont en jeu dans les phénomènes étudiés. En particulier, il ne mentionne pas l'énergie de masse dans la section sur les réactions nucléaires, ni l'énergie thermique dans celle sur les transferts thermiques. Une partie seulement des manuels étudiés comble cette lacune : trois sur cinq introduisent l'énergie de masse, un seul utilise l'expression « énergie thermique », mais c'est pour l'identifier improprement avec la « chaleur », ce qui constitue une confusion entre forme et mode de transfert d'énergie.

La notion de *transformation d'énergie* (ou « conversion ») est présente dès le cycle 3 dans les programmes de l'école, mais cela n'est pas systématique dans les manuels. De plus, on trouve parfois dans ces derniers des incohérences. Par exemple, un manuel évoque la « transformation » d'une source en courant. Au collège, les

transformations d'énergie sont abordées de façon plus systématique, à la fois dans les programmes et les manuels. Les transformations sont moins présentes dans les programmes et les manuels du lycée : dans le programme de 1^{re} S, il n'est question qu'une seule fois de « conversion d'énergie » ; il n'en est faite aucune mention explicite en TS. Nous y reviendrons plus en détail dans la section suivante.

La notion de *transfert d'énergie* est introduite en 5^e et étudiée jusqu'en TS⁸. Au collège, deux modes de transfert sont abordés : transfert par un circuit électrique et transfert thermique. À noter que deux des expressions figurant dans les programmes du collège sont ambiguës, celle de « transfert d'énergie électrique » en 5^e et celle de « transfert [...] sous forme de chaleur » en 4^e : toutes deux peuvent générer une confusion entre formes et modes de transfert d'énergie. Dans le programme de 1^{re} S, seul un mode de transfert est mentionné, celui du transfert thermique. Le programme de TS introduit en plus le travail d'une force et le transfert par la lumière (cas du laser). Remarquons que ce programme distingue trois types de « transferts thermiques » : « conduction, convection, rayonnement ». Cette distinction est reprise par l'ensemble des manuels de TS étudiés. Or, d'un point de vue scientifique, il est discutable de présenter le rayonnement électromagnétique comme un type de transfert *thermique* : le rayonnement électromagnétique et le transfert thermique sont deux modes différents de transfert *d'énergie* (fondamentalement, le premier s'opère par l'échange de photons, tandis que le second par l'échange d'énergie cinétique au niveau des particules). D'un point de vue didactique, une telle présentation ne contribue pas à distinguer clairement les différents modes de transfert d'énergie. Dans la section suivante, nous reviendrons également sur les modes de transfert.

S'agissant de la notion de *dissipation d'énergie*, une première approche est proposée en 4^e avec l'exemple d'un corps qui absorbe de la lumière et réémet de l'énergie vers son environnement par transfert thermique. Puis cette notion apparaît explicitement dans le programme et les manuels de 1^{re} S et de TS. Il est important de remarquer qu'en 1^{re} S, la dissipation est étudiée en lien avec le principe de conservation de l'énergie. Les auteurs des programmes semblent ainsi admettre que cette idée de conservation ne peut être comprise sans la connaissance du phénomène de dissipation, conformément au point de vue de certains auteurs cités plus haut.

Rappelons que, d'après d'autres auteurs, la maîtrise du principe de conservation requiert également que le *système* soit identifié et distingué de l'environnement avec lequel il échange de l'énergie. Qu'en est-il dans les programmes et les manuels ? Lors de la mention du principe dans le programme de 1^{re} S, la notion de système n'est pas convoquée. Seuls deux manuels sur les cinq étudiés donnent une définition du système en le distinguant de son environnement, avant d'énoncer le principe. Les programmes et une partie des manuels n'accordent donc pas à la notion de système un rôle essentiel.

8 Notons que les programmes de l'école parlent de « transport » de l'énergie.

En résumé, l'ensemble des ingrédients considérés comme indispensables pour l'apprentissage du principe de conservation est présent dans les programmes et les manuels, à l'exception de la distinction système/environnement. Nous avons toutefois noté plusieurs ambiguïtés au niveau du vocabulaire pouvant faire obstacle à une différenciation claire entre les différents aspects de l'énergie, en particulier entre sources, formes et modes de transfert d'énergie.

Quant au *principe de conservation de l'énergie* lui-même, il apparaît pour la première fois dans les programmes au niveau de la 1^{re} S – une grande importance lui étant alors accordée (cf. l'introduction du programme). Ce principe apparaît ainsi comme le point d'aboutissement de la progression de l'enseignement de l'énergie qui est proposée par les programmes, conformément à ce qui est recommandé dans la littérature. De quelle manière le principe de conservation est-il enseigné en 1^{re} S ? Le programme préconise de l'introduire à partir de l'étude préalable de la conservation ou non de l'énergie mécanique. Cette préconisation est suivie par l'ensemble des manuels. À noter que cette approche « traditionnelle » est considérée par certains chercheurs comme réductrice du point de vue de la physique et difficile pour les élèves (Koliopoulos & Ravanis, 1998). En particulier, ces derniers peuvent confondre conservation de l'énergie mécanique et conservation de l'énergie (Bächtold & Munier, 2014).

Le principe de conservation semble ainsi jouer un rôle clé dans la progression des programmes et des manuels. Toutefois, l'analyse de ce qui est proposé en TS remet en cause cette idée. Le programme de ce niveau ne mentionne pas le principe de conservation et seul un des manuels étudiés estime utile de le rappeler dans le chapitre concernant les transferts thermiques. Dans le chapitre dédié à l'énergie mécanique d'un oscillateur, tous les manuels étudiés soulignent qu'il y a une « conservation de l'énergie mécanique » dans le cas sans frottement (distingué du cas avec frottements), sans qu'il soit ensuite question du principe de conservation. Remarquons que cette approche présente à nouveau le risque de générer chez les élèves une confusion entre les deux types de conservation.

3.4. Transformation versus transfert

Comme nous l'avons indiqué dans la synthèse de la littérature, certains auteurs privilégient une entrée à partir des transformations d'énergie, d'autres à partir des transferts d'énergie.

Dans la section précédente, nous avons vu que les transformations d'énergie sont très présentes au collège. En particulier, en 3^e, trois situations de transformation sont présentées dans trois domaines différents de la physique : étude de la pile, de l'alternateur et de la chute d'un objet. Il s'agit d'une entrée qualitative à partir d'exemples issus de la vie quotidienne des élèves. En revanche, au lycée, les transformations sont moins présentes. Dans les programmes, il n'en est question explicitement que dans la partie *Agir* de 1^{re} S lors de l'étude de chaînes énergétiques impliquant des générateurs et des récepteurs électriques. Plusieurs sections du programme de 1^{re} S

pourraient être l'occasion de décrire des transformations d'énergie, par exemple celle sur les réactions nucléaires ou celle sur la combustion d'un hydrocarbure ou d'un alcool. Cependant, pour ces deux exemples, le programme et les manuels indiquent uniquement l'expression « énergie libérée » et ne décrivent pas cette libération d'énergie en termes de transformation. En TS, les manuels formalisent tous la transformation d'énergie potentielle en énergie cinétique (et inversement) dans le cas de l'oscillateur, mais ils se cantonnent à cette approche mécanique et ils ne mentionnent pas de transformations entre des formes d'énergie renvoyant à des domaines différents.

S'agissant des transferts d'énergie, nous avons indiqué plus haut que le transfert thermique est le seul mode de transfert abordé à la fois au collège, en 1^{re} S et en TS. Dans l'ensemble des programmes, il n'est jamais suggéré de faire une synthèse concernant les différents modes de transferts (travail mécanique, travail électrique, transfert thermique et rayonnement électromagnétique). En particulier, lors de l'étude du principe de conservation, en 1^{re} S, le programme évoque uniquement le transfert thermique et seul un manuel prend l'initiative de consacrer un paragraphe aux différents modes de transfert. En TS, une section dans le programme et les manuels est consacrée aux échanges d'énergie entre systèmes macroscopiques. Celle-ci est traitée de manière classique, c'est-à-dire en considérant avant tout le travail et les transferts thermiques et seulement à la marge les rayonnements électromagnétiques.

En somme, les programmes et les manuels ne privilégient ni l'entrée par les transformations ni celle par les transferts, à l'exception peut-être des programmes du collège qui consacrent une plus large part aux transformations.

3.5. La conception substantialiste

Cette conception substantialiste, considérée comme une analogie féconde ou comme un obstacle selon les auteurs, apparaît-elle dans les programmes et les manuels ? Trois indices peuvent nous servir à la repérer : (i) un traitement de l'énergie sans référence au système auquel la grandeur est associée (ce qui participe à faire apparaître l'énergie comme une entité autonome), (ii) les occurrences des expressions « production », « consommation », « transport » et « stockage » d'énergie (l'énergie étant alors traitée comme s'il s'agissait d'une substance telle que l'essence), et (iii) l'occurrence du terme « chaleur » employé sans la précision qu'il s'agit d'un mode de transfert d'énergie (ce terme pouvant alors véhiculer une conception substantialiste).

Au cycle 3, on repère les trois indices : plus précisément, les deux premiers indices dans le programme et les manuels et le troisième uniquement dans certains manuels (par exemple dans un manuel : la laine de verre permet de conserver la chaleur, les thermographies permettent de voir la chaleur). Au collège et au lycée, si l'énergie est associée à un système dans les parties proprement scientifiques des programmes et des manuels, ce n'est jamais le cas dans les parties sociétales. Dans ces dernières, il est abondamment fait usage des expressions « production », « consommation », « transport »

et « stockage » d'énergie sans expliciter que lorsqu'on parle de consommation et de production il s'agit de conversions d'une forme d'énergie en une ou plusieurs autres. Par conséquent, l'énergie est toujours traitée à la manière d'une substance dans les parties sociétales du secondaire. Les programmes dans ce domaine utilisent le langage des médias pour aborder les débats sociétaux. Quant au terme « chaleur », il apparaît dans le programme de 4^e, mais se voit remplacé par l'expression « transfert thermique » dans les programmes et la plupart des manuels du lycée, ce qui peut être interprété comme une volonté de surmonter la conception substantialiste.

Dans les parties des programmes et des manuels où la conception substantialiste a été repérée, cette dernière n'est jamais présentée comme étant une analogie entre matière et énergie. *A fortiori*, le statut d'analogie et les limites de cette analogie ne sont jamais discutés. Cela nous laisse penser que le traitement parfois substantialiste de l'énergie ne résulte pas d'un réel choix didactique des auteurs des programmes et des manuels, lesquels ne semblent pas conscients de véhiculer cette conception. Nous pouvons également conclure que l'obstacle que celle-ci peut constituer n'est pas pris en considération.

3.6. La fonction d'unification

Pour identifier la place accordée à la fonction d'unification du concept d'énergie, nous analysons d'abord les préambules des programmes. Dans ceux du collège et de 1^{re} S, on trouve des éléments qui suggèrent cette fonction d'unification. Au collège, le concept d'énergie doit contribuer « à faire prendre conscience de ce que la science est plus que la simple juxtaposition de ses disciplines constitutives et donne accès à une compréhension globale d'un monde complexe ». À ce titre, ce concept constitue un « thème de convergence »⁹. En 1^{re} S, le concept d'énergie est décrit comme étant omniprésent dans les différents domaines de la physique : « Au sein de tous ces phénomènes [changements d'état, réactions nucléaires et réactions chimiques] est présente cette grandeur essentielle des sciences physiques et chimiques et seulement perceptible par ses effets, l'énergie ».

L'organisation des parties des programmes et des manuels est également susceptible de mettre en avant cette fonction d'unification. Schématiquement, trois options peuvent être distinguées :

- les différents aspects de l'énergie sont répartis dans le programme ou le manuel ;
- *idem*, mais le programme ou le manuel inclut une section de synthèse sur l'énergie ;
- l'ensemble des sections portant sur l'énergie est regroupé sous un même chapeau du programme ou du manuel.

9 À travers ces thèmes de convergence, les différentes disciplines doivent contribuer de façon coordonnée à l'appropriation par les élèves de savoirs relatifs à ces différents thèmes de façon à construire une culture commune (partagée).

Nous pouvons qualifier la première organisation de « morcelée » et les deux suivantes d'« unificatrices ».

À l'école, cette question de l'organisation ne se pose pas, car l'énergie ne fait l'objet que d'une seule section.

En 3^e, le programme aborde l'énergie dans trois sections séparées, portant respectivement sur l'énergie chimique, électrique et mécanique, sans section de synthèse. Cette organisation morcelée est reprise par la plupart des manuels. À noter qu'un manuel prend l'initiative de consacrer un chapitre spécifique à l'énergie, à l'issue des chapitres sur les différentes formes d'énergie (c'est aussi le seul qui propose une définition de l'énergie, cf. tableau 2).

Dans le programme de 1^{re} S, les différents aspects de l'énergie sont dispersés dans de nombreuses sections. Il n'existe pas de section de synthèse à part entière, mais l'item « formes d'énergie » (dans la section sur le principe de conservation) constitue une opportunité de mettre en relation les différentes formes d'énergie du programme. Cette opportunité est saisie par quatre des cinq manuels étudiés, lesquels sont fidèles à l'organisation du programme. Un manuel choisit de réorganiser les contenus en regroupant sous un même chapeau trois chapitres sur l'énergie (des chapitres respectivement sur l'énergie mécanique, nucléaire et électrique).

Dans la partie *Comprendre* de la TS, l'énergie est abordée dans deux sections nettement séparées, respectivement sur l'oscillateur et les transferts thermiques. Cette séparation, qui préfigure la coupure traditionnelle à l'université entre mécanique et thermodynamique, tend au cloisonnement des différents aspects de l'énergie. Cette organisation morcelée est reprise par les manuels étudiés. Toutefois, deux manuels précisent, dans le chapitre sur les transferts thermiques, que l'énergie d'un système se compose non seulement de l'énergie interne (qui est étudiée dans ce chapitre), mais aussi de l'énergie mécanique (qui est étudiée dans l'autre chapitre sur l'oscillateur).

Nous regardons ensuite si les programmes et les manuels proposent ou non une définition de l'énergie et laquelle. Il s'agit de voir si cette définition évolue au cours de l'enseignement et dans quelle mesure elle montre que le concept d'énergie permet de mettre en relation des phénomènes très différents. Les définitions, explicites ou non, sont rassemblées dans le tableau page suivante.

	Programmes	Manuels
Cycle 3	Définition indirecte : « L'utilisation d'une source d'énergie est nécessaire pour chauffer, éclairer, mettre en mouvement »	Plusieurs manuels reprennent une définition indirecte similaire. Par exemple : « Rien ne peut se faire sans énergie » « l'énergie peut modifier l'état des choses, les faire changer de forme, les faire bouger, ou les faire fonctionner »
Collège 3 ^e	Deux définitions explicites : « L'énergie apparaît comme la capacité que possède un système de produire un effet » « l'énergie possédée par un système est une grandeur qui caractérise son aptitude à produire des actions »	Un seul manuel donne une définition : « Les scientifiques définissent l'énergie comme la capacité de produire un travail »
Lycée 1S	Pas de définition	Des définitions dans 4 manuels sur 5, toutes différentes : – une définition classique : « L'énergie est une grandeur caractérisant la capacité d'un système à modifier son état, sa position ou son mouvement » – en termes de grandeur et de formes : « À tout système, on peut associer une grandeur appelée énergie qui peut revêtir différentes formes : mécanique (cinétique et potentielle), chimique, nucléaire, électrique, etc. » – en lien avec les interactions fondamentales : « L'énergie décrit l'état d'un système sous l'action d'une ou plusieurs des quatre interactions fondamentales » – en termes de propriétés « essentielles » : « Elle peut être stockée [...] elle peut être transférée [...] elle est conservée... »
Lycée TS	Pas de définition	Pas de définition

Tableau 2 : définitions de l'énergie dans les programmes et les manuels en fonction du niveau scolaire

Les programmes de l'école primaire ne donnent pas de définition formelle de l'énergie, mais proposent une première ébauche de définition, l'énergie étant « quelque chose » de nécessaire pour obtenir différents effets, laquelle est reprise par une partie des manuels. Elle permet de mettre en relation des phénomènes très différents, ce qui constitue une première approche de l'aspect unificateur du concept.

Au collège, les deux définitions indiquées par les programmes correspondent à la définition classique de la physique dans sa version qui semble être la plus adaptée aux élèves de ce niveau, puisqu'elle ne fait pas appel à la grandeur travail (qui n'est étudiée qu'en TS). Cependant, ces définitions figurent uniquement dans l'introduction des programmes du collège. Elles ne sont pas reprises, ni dans les « connaissances »

au programme, ni dans les manuels, à une exception près (lequel fait cependant appel à la grandeur travail). De plus, ces définitions utilisent le terme « système » (sans le définir), alors que dans la suite du programme on parle d'« objet » sans clarifier ses limites (exemple : « un objet possède [...] une énergie de mouvement appelée énergie cinétique »).

En 1^{re} S, même si le programme fait l'économie d'une définition de l'énergie, la plupart des manuels éprouvent le besoin d'en donner une, chacun proposant sa propre version, ce qui conduit à des différences importantes. En TS, ni le programme ni les manuels ne proposent de définition de l'énergie.

On peut donc considérer que seuls les programmes et manuels de l'école et les programmes du collège donnent une définition de l'énergie suffisamment générale pour englober les différents domaines de la physique et ainsi donner à voir la fonction d'unification du concept. Au lycée, les définitions figurant dans les manuels scolaires de 1^{re} S ne sont suffisamment générales que dans deux cas sur cinq.

3.7. Articulation avec l'éducation à l'énergie

Quel que soit le niveau d'enseignement, les programmes de sciences affichent à la fois des objectifs liés à l'acquisition de concepts scientifiques et des objectifs d'éducation au développement durable.

Concernant plus spécifiquement l'énergie, les programmes de tous les niveaux attestent de ce double regard avec une partie essentiellement scientifique (cf. tableau 1) et une partie davantage en lien avec les questions sciences-société comme le montrent les extraits des programmes et des textes introductifs de ces derniers :

Cycle 3	« exemples simples de sources d'énergies (fossiles ou renouvelables) » en CE2 et CM1 « Besoins en énergie, consommation et économie d'énergie » et « Comprendre et mettre en œuvre des gestes citoyens pour faire des économies d'énergie dans les situations de la vie quotidienne » en CM2
Collège 3 ^e	« Le terme énergie appartient désormais à la vie courante. Quelles ressources énergétiques pour demain ? Quelle place aux énergies fossiles, à l'énergie nucléaire, aux énergies renouvelables ? Comment transporter l'énergie ? Comment la convertir ? Il s'agit de grands enjeux de société qui impliquent une nécessaire formation du citoyen pour participer à une réflexion légitime. Une approche planétaire s'impose désormais en intégrant le devenir de la Terre » (introduction, thème de convergence)
1 ^{re} S	Dans la partie <i>Agir</i> , en 1 ^{re} S comme en TS, il s'agit d'apporter des éléments de réponse à la question « En quoi la science permet-elle de répondre aux défis rencontrés par l'Homme dans sa volonté de développement tout en préservant la planète » « [...] De nos jours, l'enseignement de la physique et de la chimie participe à poser les bases de comportements sociétaux responsables qui fondent la possibilité du vivre ensemble »

	« L'activité scientifique et ses applications technologiques s'avèrent être des réponses appropriées à des défis posés à l'Homme comme transformer l'énergie et économiser les ressources » [introduction du cycle terminal : 1 ^{re} S et TS] Compétences visées : « recueillir et exploiter des informations pour identifier des problématiques » sur les questions de gestion de l'énergie et « argumenter en utilisant le vocabulaire scientifique adéquat »
Terminale S	La partie <i>Agir</i> présente les questions énergétiques comme étant au centre de préoccupations sociétales telles que « économiser les ressources et respecter l'environnement ». Il s'agit pour cela d'identifier les enjeux énergétiques : la nécessité d'une part de définir de nouvelles chaînes énergétiques, et d'autre part d'apporter des solutions aux problèmes d'économie d'énergie

Tableau 3 : les contenus des programmes concernant l'éducation à l'énergie en fonction du niveau scolaire

Le programme de 3^e affirme le lien entre enseignement de l'énergie et EDD à travers les thèmes de convergence « Développement durable » et « Énergie ». Cependant, si cette injonction d'ouverture sociétale et environnementale est forte, seuls quelques commentaires dans la présentation des contenus du programme proposent de la mettre en œuvre. Dans les programmes de 1^{re} S et TS, la partie *Agir* souligne l'importance des défis sociétaux et environnementaux que l'homme doit relever en mobilisant l'innovation et la création scientifiques. Notons que le programme présente les sciences comme nécessairement porteuses des solutions permettant de relever l'ensemble de ces défis, ce qui correspond à une vision des liens sciences-société aux intonations scientistes.

Les manuels de tous les niveaux s'emparent des questions sociétales liées à l'énergie, à des degrés variables. À l'école, par exemple, tous évoquent les risques pour l'environnement liés à la production d'électricité, de façon systématique ou non¹⁰. Tous les manuels affirment la nécessité d'économiser l'énergie et/ou de réduire notre consommation d'électricité et listent un certain nombre de gestes à effectuer pour cela – ces derniers étant en nombre très variable selon les manuels. En 3^e, puis en 1^{re} S, la plupart des manuels abordent eux aussi la question des économies d'énergie de façon plus ou moins développée. En TS, les manuels traitent les aspects réglementaires associés à la consommation d'énergie ainsi que les problèmes d'équilibre (ou déséquilibre, etc.) mondial énergétique.

Quel que soit le niveau d'enseignement, dans les programmes et dans la plupart des manuels, la partie sociétale sur l'énergie suit l'enseignement du concept en physique-chimie. Les questions socio-économiques liées à l'énergie ne sont donc pas présentées comme une entrée pour l'enseignement au niveau scientifique : il s'agit d'abord de maîtriser les connaissances scientifiques liées à l'énergie avant de les mettre en œuvre pour étudier les dispositifs techniques qui permettent d'utiliser des sources d'énergie, de stocker, d'économiser ou de transporter de l'énergie. Le

¹⁰ Notons que deux manuels sur quatre ont à cette occasion un discours caricatural sur les sources renouvelables et assimilent à tort source d'énergie renouvelable à énergie propre.

programme de 1^{re} S mentionne d'ailleurs explicitement le fait que les élèves doivent être en mesure de réinvestir dans la partie *Agir* les notions scientifiques de conversion et de conservation d'énergie.

La partie *Agir* des programmes de lycée est également l'occasion de développer l'enseignement de l'énergie sur le plan scientifique. En 1^{re} S, il s'agit d'introduire de nouvelles notions scientifiques : celles de rendement de conversion, de puissance et de dégradation de l'énergie. Conformément au programme, les cinq manuels analysés mobilisent dans leur partie *Agir* la notion de conversion d'énergie, de même que les formes et les modes de transfert d'énergie, des notions ou grandeurs qui sont toutes introduites d'abord dans la partie *Comprendre*. Ils définissent également les nouvelles notions scientifiques de rendement de conversion, de puissance et de dégradation de l'énergie. En revanche, ces manuels font une exploitation très limitée, voire inexistante, du principe de conservation de l'énergie. Seul un manuel fait un renvoi au chapitre de la partie *Comprendre* portant sur le principe de conservation de l'énergie et présente ce dernier comme se trouvant au cœur de l'étude des chaînes énergétiques. Soulignons, par ailleurs, que les cinq manuels analysés font usage des expressions « production d'énergie électrique » (expression se trouvant dans le programme) ou « production d'énergie » sans clarifier le fait qu'elles ne sont pas à entendre au sens propre – ce qui serait en contradiction avec le principe de conservation de l'énergie. Autrement dit, ils ne précisent pas que ces expressions doivent être interprétées, sur le plan scientifique, en termes de conversion d'une forme d'énergie en une autre. En TS, la section « enjeux énergétiques », tout en offrant l'occasion de mettre en pratique les acquis des sections précédentes, permet aux manuels d'introduire de nouvelles notions associées à l'énergie en lien avec des enjeux sociétaux (ex : « efficacité énergétique »).

4. Synthèse et discussion

À travers cette analyse, nous avons cherché à cerner les choix de transposition didactique opérés par les programmes et les manuels concernant l'enseignement de l'énergie. Il s'agissait de dégager la progression proposée de l'école au lycée et de la mettre en regard de la littérature. Nous avons constaté que le principe de conservation de l'énergie fait figure de point d'aboutissement de cette progression jusqu'à la 1^{re} S, en accord avec ce qui est préconisé de façon consensuelle dans la littérature. Ainsi, les différents aspects de l'énergie que les élèves doivent connaître pour maîtriser ce principe (sources, formes, transformations, transferts et dissipation) sont abordés tout au long de la scolarité. Toutefois, un « ingrédient » pour la maîtrise du principe, pointé comme étant important par certains auteurs, n'est pas introduit par le programme et n'est pas abordé par plusieurs manuels : l'identification du système et sa distinction de l'environnement avec lequel il échange de l'énergie. En outre, le vocabulaire employé par les programmes et les manuels présente des ambiguïtés susceptibles d'empêcher les élèves de différencier clairement les différents aspects

de l'énergie : les sources et les formes d'énergie, les formes et les modes de transfert d'énergie ou encore les différents modes de transfert d'énergie.

Si une progression vers le principe de conservation de l'énergie peut être identifiée dans les programmes et les manuels de l'école à la 1^{re} S, le rôle que joue la TS dans cette progression apparaît plus flou. Le principe de conservation n'y est plus mobilisé (sauf dans un manuel), alors qu'on aurait pu attendre des programmes et des manuels qu'ils proposent de le mettre en œuvre afin que les élèves puissent se l'approprier davantage. Il n'est question en TS que de la conservation de l'énergie mécanique. Or, une telle approche, comme nous l'avons souligné, risque de favoriser la confusion chez les élèves entre conservation de l'énergie mécanique et conservation de l'énergie.

Notre objectif était également d'appréhender la manière dont les programmes et les manuels se situent par rapport à plusieurs stratégies didactiques discutées dans la littérature. Est-il préférable de privilégier une entrée par les transformations ou par les transferts? La conception substantialiste de l'énergie est-elle à exploiter ou à éviter? Suivant notre analyse, ces deux questions semblent être ignorées par les auteurs des programmes et des manuels. Concernant la première question, ni l'entrée par les transformations, ni celle par les transferts n'est privilégiée. S'agissant de la seconde question, certes, la conception substantialiste n'est pas écartée, mais sa présence ne semble pas résulter d'un choix didactique.

Est-il important pour les auteurs des programmes et des manuels de mettre en avant la fonction d'unification du concept d'énergie et de s'appuyer pour cela sur une définition de l'énergie? Notre analyse a conduit à des résultats contrastés sur cette question. À l'école et au collège, les programmes donnent une définition de l'énergie (pouvant être rapprochée de celle en termes de capacité d'un système à produire des changements) qui est suffisamment générale pour englober toutes les formes d'énergie et ainsi permettre leur mise en relation. Cependant, cette définition n'est pas reprise par les manuels du collège. Au lycée, au niveau 1^{re} S, le programme et les manuels comportent une section ou un chapitre autour du principe de conservation qui est l'occasion de rappeler toutes les formes d'énergie et d'établir des liens entre elles. Néanmoins, ils n'ont plus recours à une définition de l'énergie. D'après nous, pour que les élèves puissent comprendre la signification du concept d'énergie, il est essentiel de faire apparaître la fonction d'unification tout au long de la scolarité, ce qui peut difficilement être envisagé sans recours à une définition générale de l'énergie. Il nous semble donc que l'enseignement de l'énergie devrait s'appuyer sur une définition de l'énergie *tout au long de la scolarité*, une définition qui soit équivalente pour assurer la cohérence de cet enseignement, même si la formulation doit être adaptée à chaque niveau.

Enfin, nous avons cherché à mettre en évidence la manière dont les programmes et les manuels gèrent la double approche de l'énergie, scientifique et sociétale. Quels que soient les niveaux d'enseignement, la visée de la partie sociétale des programmes est de permettre aux élèves, citoyens de demain, de s'emparer des questions liées aux besoins en énergie, à l'environnement, etc., en s'appuyant sur des connaissances scientifiques solides. Ces orientations trouvent dans les manuels

des traductions différentes. Celles-ci ne sont pas systématiquement en prise avec les contenus scientifiques censés être mobilisés. En particulier, la partie sociétale des manuels ne mobilise qu'à la marge le principe de conservation de l'énergie. De plus, les programmes et manuels n'explicitent pas les points de rupture apparente entre les deux approches scientifique et sociétale. Selon nous, les termes « production » ou « consommation » d'énergie devraient être discutés explicitement en classe, afin que les élèves prennent conscience qu'il s'agit en fait de conversions d'énergie. Les élèves doivent apprendre à « commuter » sans confusion entre les deux types d'usage du terme énergie pour pouvoir tirer avantage de leur formation scientifique lorsqu'ils prennent part aux discussions sociétales liées à l'énergie.

Au final, si dans leurs grandes lignes, les textes des programmes et des manuels du cycle 3 à la TS proposent une progression qui peut apparaître pertinente, dans le détail des points spécifiques que nous venons de discuter, ils restent imprécis ou lacunaires. Au-delà des intentions générales affichées, ce sont sur ces zones de flou, susceptibles de générer des obstacles à la conceptualisation de l'énergie, qu'il nous paraît important de développer de nouvelles recherches.

Manuel Bächtold

manuel.bachtold@fde.univ-montp2.fr

Valérie Munier

valerie.munier@fde.univ-montp2.fr

Muriel Guedj

muriel.guedj@univ-montp2.fr

Alain Lerouge

lerouge.alain@laposte.net

André Ranquet

andre.ranquet@wanadoo.fr

BIBLIOGRAPHIE

Les programmes et les manuels sont référencés séparément dans la dernière partie de la bibliographie

AGABRA J. (1985). Énergie et mouvement : représentations à partir de l'étude de jouets mobiles. *Aster*, n° 1, p. 95-113.

ARONS A. (1999). Development of energy concepts in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, vol. 67, n° 12, p. 1063-1067.

BÄCHTOLD M., MUNIER V. & LEROUGE A. (2013). Éduquer à l'énergie au collège et au lycée : quelle articulation entre savoirs disciplinaires et enjeux socio-

- économiques et environnementaux? *Colloque « Les savoirs disciplinaires dans le cadre des éducations à... », Journées scientifiques Montpellier-Sherbrooke, 27 juin 2013.*
- BÄCHTOLD M. & GUEDJ M. (2014). Teaching energy informed by the history and epistemology of the concept with implications for teacher education. In M. Matthews (éd.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, Berlin/Heidelberg : Springer, p. 211-243.
- BÄCHTOLD M. & MUNIER V. (2014). Enseigner le concept d'énergie en physique et éduquer à l'énergie : rupture ou continuité? *Actes des « Huitièmes journées scientifiques de l'ARDIST », Skholê*, vol. 18, n° 1, 2014, p. 21-29.
- BALIBAR F. (2010). Énergie. In D. Lecourt (éd.), *Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences*, Paris : Presses universitaires de France, p. 403-408.
- BALLINI R., ROBARDET G. & ROLANDO J.-M. (1997). L'intuition, obstacle à l'acquisition de concepts scientifiques : propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en première S. *Aster*, n° 24, p. 81-112.
- 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.
- BUNGE M. (2000). Energy: between physics and metaphysics. *Science and Education*, n° 9, p. 457-461.
- CHISHOLM D. (1992). Some energetic thoughts. *Physics Education*, n° 27, p. 215-220.
- CHEVALLARD Y. (1985). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- COLONNESE D., HERON P., MICHELINI M., SANTI L. & STEFANEL A. (2012). A vertical pathway for teaching and learning the concept of energy. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, vol. 6, n° 1, p. 21-50.
- COTIGNOLA M., BORDOGNA C., PUNTE G. & CAPPANNIN O. (2002). Difficulties in learning thermodynamic concepts: are they linked to the historical development of this field? *Science and Education*, n° 11, p. 279-291.
- DOMÉNECH J.-L., GIL-PÉREZ D., GRAS-MARTI A., GUIASOLA J., MARTÍNEZ-TORREGROSA J., SALINAS J., TRUMPER R., VALDÉS P. & VILCHES A. (2007). Teaching of energy issues: a debate proposal for a global reorientation. *Science and Education*, n° 16, p. 43-64.
- DRIVER R. & WARRINGTON L. (1985). Student's use of the principle of energy conservation in problem situation. *Physics Education*, n° 5, p. 171-175.

- DUIT R. (1981). Understanding energy as a conserved quantity. *European Journal of Science Education*, vol. 3, n° 3, p. 291-301.
- DUIT R. (1984). Learning the energy concept in school. Empirical results from the Philippines and West Germany. *Physics Education*, n° 19, p. 59-66.
- DUIT R. (1987). Should energy be introduced as something quasi-material? *International Journal of Science Education*, n° 9, p. 139-145.
- ELKANA Y. (1974). *The discovery of the conservation of energy*. Londres : Hutchinson Educational.
- ELLSE M. (1988). Transferring not transforming energy. *School Science Review*, vol. 69, n° 248, p. 427-437.
- FEYNMAN R. (1963). *The Feynman lectures on physics, vol. I: mainly mechanics, radiation, and heat*. Pasadena : California Institute of Technology.
- GILBERT J. & POPE M. (1986). Small group discussions about conception in science: a case study. *Research in Science and Technological Education*, n° 4, p. 61-76.
- GILBERT J. & WATTS D. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, n° 10, p. 61-98.
- GIL-PEREZ D. & VILCHES A. (2005). Contribution of Science and technological Education to Citizens' Culture. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, vol. 5, n° 2, p. 253-263.
- GOLDRING H. & OSBORNE J. (1994). Students' difficulties with energy and related concepts. *Physics Education*, vol. 29, n° 1, p. 26-32.
- HARRISON A., GRAYSON D. & TREAGUST D. (1999). Investigating a grade 11 student's evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 36, n° 1, p. 55-87.
- HOBSON A. (2004). Energy and work: the meaning of energy. *The Physics Teacher*, vol. 42, n° 5, p. 260.
- KAPER W. & GOEDHART M. (2002). "Forms of energy": an intermediary language on the road to thermodynamics? Part I-II. *International Journal of Science Education*, vol. 24, n° 1, p. 81-96 et vol. 24, n° 2, p. 119-138.
- KOLIOPOULOS D. & RAVANIS K. (1998). L'enseignement de l'énergie au collège vu par les enseignants : grille d'analyse de leurs conceptions. *Aster*, n° 26, p. 165-182.
- LEE H.-S. & LIU O. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: the knowledge integration perspective. *Science Education*, vol. 94, n° 4, p. 665-688.

- LEWIS E. & LINN M. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 31, n° 6, p. 657-677.
- LIJNSE P. (1990). Energy between the life-world of pupils and the world of physics. *Science Education*, vol. 74, n° 5, p. 571-583.
- MACH E. (1883/1903). *La mécanique*. Paris : Hermann.
- MARTINAND J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière : des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Berne : Peter Lang.
- MCILDOWIE E. (2004). A trial of two energies. *Physics Education*, vol. 39, n° 2, p. 212-214.
- MILLAR D. (2005). *Teaching about energy*. Department of Educational Studies: research paper 2005/11. En ligne : < <http://www.york.ac.uk/media/educationalstudies/documents/research/Paper11Teachingaboutenergy.pdf>>.
- NEUMANN K., VIERING T., BOONE W. & FISCHER h. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 50, n° 2, p. 162-188.
- NORDINE J., KRAJCIK J. & FORTUS D. (2011). Transforming energy instruction in middle school to support intergrated understanding and future learning. *Science Education*, vol. 95, n° 4, p. 670-699.
- OSTWALD W. (1910). *L'énergie*. Paris : Alcan.
- PAPADOURIS N. & CONSTANTINOUC. (2011). A philosophically informed teaching proposal on the topic of energy for students aged 11-14. *Science and Education*, n° 20, p. 961-979.
- PERRENOUD P. (1993). Curriculum : le formel, le réel, le caché. In J. Houssaye (dir.), *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui*, Paris : ESF, p. 61-76.
- POINCARÉ H., (1908). *Thermodynamique*. Paris : Gauthier-Villars.
- RANKINE W. (1855). Outlines of the science of energetics. *The Edinburgh New Philosophical Journal*, vol. 2, n° 3, p. 121-141.
- ROCHE J. (2003). What is potential energy? *European Journal of Physics*, n° 24, p. 185-196.
- SEXL R. (1981). Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, vol. 3, n° 3, p. 285-289.
- SOLOMON J. (1983). Learning About Energy: How Pupils Think in Two Domains. *European Journal of Science Education*, n° 5, p. 49-59.
- SOLOMON J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, n° 20, p. 165-170.

- TRELLU J.-L. & TOUSSAINT J. (1986). La conservation, un grand principe. *Aster*, n° 2, p. 43-87.
- TRUMPER R. (1990). Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept, part one. *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 4, p. 343-354.
- TRUMPER R. (1991). Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept, part two. *International Journal of Science Education*, vol. 13, n° 1, p. 1-10.
- TRUMPER R. (1993). Children's energy concepts: a cross-age study. *International Journal of Science Education*, n° 15, p. 139-148.
- VAN HUIS C. & VAN DEN BERG E. (1993). Teaching energy: a systems approach. *Physics Education*, n° 28, p. 146-153.
- VINCE J. & TIBERGHEN A. (2012). Enseigner l'énergie en physique à partir de la question sociale du défi énergétique. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, vol. 6, n° 1, p. 89-124.
- VINCE J. & TIBERGHEN A. (2014). Enseignement du « défi énergétique » au lycée : comment faire des liens entre physique et connaissance commune? *Actes des « Huitièmes journées scientifiques de l'ARDIST »*, Skholê, vol. 18, n° 1, 2014, p. 535-545.
- WARREN J. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, vol. 4, n° 3, p. 295-297.
- WARREN J. (1991). The teaching of energy. *Physics Education*, vol. 26, n° 1, p. 8-9.
- WATTS D. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, n° 18, p. 213-217.

Les programmes analysés

- MEN [Ministère de l'Éducation nationale, France] (2006). Socle commun de connaissances et de compétences. *Bulletin officiel de l'Éducation Nationale*, n° 29, 20 juillet 2006.
- MEN (2008a). Programmes d'enseignement de l'école primaire, *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, hors série n° 3, 19 juin 2008.
- MEN (2008b). Programmes du collège. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, spécial n° 6, 28 août 2008.
- MEN (2010). Programme d'enseignement spécifique de physique-chimie en classe de première de la série scientifique. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, spécial n° 4, 9 et 30 septembre 2010.

MEN (2011). Programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie, classe terminale de la série scientifique. *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, spécial n°8, 13 octobre 2011.

MEN (2012). Progressions pour le cours élémentaire deuxième année et le cours moyen, sciences expérimentales et technologie. *Bulletin officiel de l'éducation nationale*, 5 janvier 2012.

Les manuels scolaires analysés

Primaire (cycle 3)

GIORDAN A. (dir.), COQUIDÉ M. *et al.* (2008). *Toutes les sciences : cycle 3*. Paris : Nathan.

GUICHARD J. (dir.), DAVID L. *et al.* (2010). *Sciences expérimentales et technologie : CM*. Paris : Hachette éducation.

ROLANDO J.-M. *et al.* (2010). *64 enquêtes pour comprendre le monde : cycle 3*. Paris : Magnard.

TAVERNIER R. (dir.), CALMETTES B. *et al.* (2010). *Sciences expérimentales et technologie : CM2*. Paris : Bordas.

Collège (3^e)

CARRE-MONTREJAUD H. (dir.), AMAUGER F. *et al.* (2008). *Physique Chimie : 3^e*. Paris : Nathan.

CHEYMOL N., HOFF M. (dir.), BOCHARD-OCZKOWSKI C. *et al.* (2008). *Physique Chimie : 3^e*. Paris : Magnard.

COLLECTIF DE PROFESSEURS (2008). *Physique Chimie : 3^e*. Paris : Hachette.

DIRAND B, RUFFENACH M. (dir.), DEBON P. *et al.* (2011). *Physique Chimie : 3^e*. Paris : Bordas.

DURANDEAU J.-P. (dir.), BRAMAND P. *et al.* (2008). *Physique Chimie : 3^e*. Paris : Hachette éducation.

JOURDAN J. (dir.), CAMBON F. *et al.* (2008). *Physique Chimie : 3^e*. Paris : Hatier.

PARISI J.-M. (dir.), CABY M.-P. *et al.* (2008). *Physique Chimie : 3^e*. Paris : Belin.

Première S

BATAILLE X. *et al.* (2011). *Physique Chimie : 1^{re} S*. Paris : Belin.

DULAURANS T. & DURUPHTY A. (dir.), BARDE M. *et al.* (2011). *Physique Chimie : 1^{re} S*. Paris : Hachette (collection Microméga).

LE MARÉCHAL J.-F. (dir.) (2011). *Physique Chimie : 1^{re} S.* Paris : Hatier (collection Microméga).

PREVOST V. & RICHOUX B. (dir.) (2011). *Physique Chimie : 1^{re} S.* Paris : Nathan (collection Sirius).

RUFFENACH M. (dir.) (2011). *Physique Chimie : 1^{re} S.* Paris : Bordas (collection Espace).

Terminale S

ANTCZAK S. & LE MARÉCHAL J.-F. (dir.) (2012). *Physique Chimie : TS.* Paris : Hatier (collection Microméga).

BATAILLE X. *et al.* (2012). *Physique : TS.* Paris : Belin.

DULAURANS T. & DURUPHTY A. (dir.) (2012). *Physique Chimie : TS.* Paris : Hachette (collection Dulaurans et Duruphty).

PREVOST V. & RICHOUX B. (dir.) (2012). *Physique Chimie : TS.* Paris : Nathan (collection Sirius).

RUFFENACH M., CARIAT T. & MORA V. (dir.) (2012). *Physique Chimie : TS.* Paris : Bordas (collection Espace lycée).

