

# Élaboration et évaluation du contenu conceptuel d'un curriculum constructiviste concernant l'approche énergétique des phénomènes mécaniques

## Design and evaluation of the content of an introductory constructivist curriculum adopting an energy approach to mechanical phenomena

**Dimitris KOLIOPOULOS, Konstantinos RAVANIS**

Université de Patras  
Département des Sciences de l'Éducation  
Section Préscolaire  
Rion, Patras, 26500, Grèce.

### **Résumé**

*L'objet de ce travail est l'élaboration d'un curriculum sur l'énergie mécanique pour des élèves de 13-14 ans, qui s'inscrit dans une perspective de rénovation des programmes. Cette proposition concerne l'intégration de l'aspect constructiviste dans l'organisation et le contenu du curriculum lui-même. Sur la base de principes argumentés, en particulier la prise en compte des représentations des élèves (point d'appui pour une évolution), un travail*

*sur les systèmes symboliques et la proposition de « germes de modèle », une organisation temporelle de l'introduction de différents concepts associés à celui d'énergie est proposée, en indiquant les situations physiques qui paraissent les plus appropriées. À partir de cette proposition curriculaire, des séquences de classe ont été mises en oeuvre qui ont donné lieu à une évaluation de la validité du curriculum. Les résultats de cette évaluation par pré-test et post-test réalisés auprès d'une centaine d'élèves sont présentés dans cet article.*

**Mots clés :** didactique de la physique, constructivisme, curriculum, énergie, conceptions d'élèves.

### **Abstract**

*This work aims at constructing a curriculum concerning mechanical energy. The objective of this curriculum is to reconstruct a new one for students aged 13-14. Our project incorporates a constructivist aspect in the organisation and content of the curriculum itself. This work is based on a series of argumentative principles, especially on the attempt of transforming the students representations, as well as on a work which used symbolic systems and the introduction of a « model-sperm ». Additionally, we put forward the time-sequence for the introduction of different concepts related to that of energy, using suitable real physical situations. Based on this suggested curriculum, certain teaching activities took place in the classroom, which allowed the evaluation of the validity of this curriculum. The results of this evaluation, which was carried out by giving a pre- and a post-test to 100 students, are also presented in this paper.*

**Key words :** physics education, constructivism, curriculum, energy, pupils' conceptions.

### **Resumen**

*El objeto de este trabajo es la elaboración de un curriculum sobre la energía mecánica para alumnos de 13-14 años, el mismo se inscribe dentro de una perspectiva de renovación de programas. Esta proposición concierne la integración del aspecto constructivista en la organización y el contenido del curriculum. Sobre la base de principios argumentados, en particular la toma en cuenta de las representaciones de los alumnos (punto de apoyo para una evolución), se propone un trabajo sobre los sistemas simbólicos y la proposición de « gérmenes de modelo », así como una organización temporal de la introducción de diferentes conceptos asociados a aquel de la energía, indicando las situaciones físicas que parecen más apropiadas. A partir de esta proposición curricular, unas secuencias de clase fueron*

*ejecutadas dando lugar a una evaluación de la validez del curriculum. En este artículo presentamos los resultados de esta evaluación obtenidos de la aplicación de un pre-test y post-test a un centenar de alumnos.*

**Palabras claves :** *didáctica de la física, constructivismo, curriculum, energía, concepciones de los alumnos.*

## 1. PROBLÉMATIQUE

Ces vingt dernières années, l'approche constructiviste de l'enseignement a constitué une importante ligne de recherche dans le domaine de la didactique des sciences physiques. Parmi ces travaux la recherche relative à l'élaboration et à l'évaluation de programmes d'enseignement concernant l'apprentissage du concept d'énergie occupe une place importante. En effet, ce concept présente des intérêts scientifique et social indéniables. Parallèlement, les chercheurs en didactique des sciences physiques ont souligné l'intérêt que présente l'enseignement et/ou l'apprentissage d'un concept aussi abstrait et mathématisé dans l'enseignement obligatoire des sciences physiques (Driver & Millar, 1985 ; Koliopoulos & Tiberghien, 1986 ; Duit & Haeussler, 1994). Dans cet article nous tentons d'élargir la problématique constructiviste en l'utilisant dans l'élaboration des contenus à enseigner à l'échelle du curriculum et en soutenant que les principes du constructivisme peuvent être appliqués de façon à ce que l'appropriation de grands ensembles de connaissances soit possible.

Le **tableau 1** regroupe quelques-unes des recherches essentielles se référant à des interventions didactiques du type constructiviste, ayant pour but l'apprentissage de l'énergie, dans le cadre de programmes d'enseignement qui mettent en valeur l'approche conceptuelle du contenu. Ces recherches concernent des élèves de 12 à 17 ans et, dans la plupart des cas, le programme d'enseignement se veut introductif du concept initial. Une seule recherche est exclusivement consacrée à l'enseignement de l'approche énergétique des phénomènes mécaniques ; la plupart des autres envisage diverses formes d'énergie dans des situations pluri-phénoménologiques. Ces recherches concernent en général des situations d'apprentissage plus que des programmes complets d'enseignement, c'est-à-dire des séquences structurées d'unités didactiques. Actuellement, le petit nombre de recherches concernant la construction du cadre conceptuel de l'énergie d'un système mécanique semble être justifié par la faible présence, au niveau international, de l'enseignement de la mécanique à cet âge. Ceci est peut-être lié à l'image pessimiste qu'offrent les résultats des recherches antérieures, selon lesquelles un faible pourcentage d'élèves utilise des

représentations à caractère énergétique quand ils désirent décrire et/ou expliquer des phénomènes mécaniques (Solomon, 1992 ; Driver et al., 1994). Cependant, dans les programmes scolaires de certains pays, l'approche énergétique des phénomènes mécaniques est un des éléments essentiels du curriculum (servant de base à la construction de la suite du curriculum) et le problème de l'enseignement et/ou de l'apprentissage de ce concept requiert une solution satisfaisante.

Objectif didactique	Référence de base	Âge des élèves
Construction des concepts d'énergie mécanique et de travail	– Guidoni (1985)	jusqu'à 14 ans
Construction des concepts de température et de chaleur dans le cadre de la thermodynamique	– Agabra (1986)	12-17 ans
Construction de concepts d'énergie électrique, de puissance électrique et de courant électrique	– Shipstone & Gunstone (1985) – Tiberghien et al. (1989)	12-13 ans 14-15 ans
Construction des propriétés thermodynamiques du concept d'énergie ou d'éléments provenant de divers modèles de la chaîne énergétique	– CLIS Project (1987) – Tromper (1990, 1991) – Lemeignan & Weil-Barais (1990) – Tiberghien & Megalakaki (1995)	13-16 ans 14-17 ans 16-17 ans 16-17 ans
Accent sur l'élaboration des principes de conservation et de dégradation de l'énergie	– Solomon (1985) – Duit (1985)	15-17 ans 12-16 ans

**Tableau 1 : Recherches concernant l'enseignement et/ou l'apprentissage du concept d'énergie dans le cadre d'une approche constructiviste**

Dans cet article nous soutiendrons qu'il est possible d'élaborer un curriculum inspiré du constructivisme, initiant au concept d'énergie, et ayant pour intention de conduire les élèves entre 13 et 14 ans<sup>1</sup> à utiliser correctement ce concept de base dans une variété de situations mécaniques. Avant de passer aux caractéristiques et au contenu de ce programme, il faut préciser que, dans cette recherche, nous sommes proches de la position de divers chercheurs soutenant que l'étude des représentations des élèves et l'adhésion à des modèles constructivistes de l'apprentissage, ne conduisent pas obligatoirement à des modèles constructivistes d'enseignement (comme ceux où l'on propose une séquence d'activités didactiques hiérarchiquement structurées pouvant correspondre à une séquence de processus d'apprentissage – par exemple : Driver & Oldham, 1986 –), mais débouchent plutôt sur des propositions concrètes quant à la

nature et à la structure du contenu conceptuel qui est à enseigner (Millar, 1989 ; Lijnse, 1990 ; Fensham et al., 1994). Ce point de vue, qui utilise l'approche constructiviste comme référence<sup>2</sup> - contrairement à l'opinion la plus répandue selon laquelle le constructivisme propose une approche méthodologique de l'enseignement - s'accorde, d'évidence, beaucoup plus avec les caractéristiques de notre propre recherche qui se centre sur l'élaboration du contenu conceptuel plutôt que sur la méthode d'enseignement<sup>3</sup>. Dans notre cas, l'aspect constructiviste est intégré au contenu, à l'organisation, aux activités et aux questionnements du programme lui-même. Nous ne proposons rien quant aux méthodes pédagogiques car nous faisons l'hypothèse que le curriculum lui-même induira, chez les enseignants, un certain nombre de changements quant aux modalités d'enseignement/apprentissage dans un sens constructiviste.

## 2. LA CONSTRUCTION DU CURRICULUM

Le contenu conceptuel du curriculum proposé a été élaboré de telle façon que soient assurées, à la fois :

- sa validité épistémologique, c'est-à-dire sa conformité avec quelques conceptions épistémologiques actuelles relatives à la création (point de vue historique), au contenu scientifique et à l'application du concept d'énergie ;
- sa compatibilité psychologique avec les représentations des élèves par rapport au concept en question ;
- ainsi que sa faisabilité, c'est-à-dire sa capacité d'adaptation aux conditions réelles d'enseignement (Koliopoulos, 1997).

En tenant compte des conditions énoncées ci-dessus nous avons fait des propositions dans le cadre des buts généraux et des objectifs didactiques spécifiques du programme. Les buts généraux sont les suivants :

- insister d'abord sur l'importance de la conceptualisation des phénomènes physiques, ce qui assure la continuité de la tradition du curriculum grec au collège et permet une insertion facile de ce nouveau curriculum ;
- demander ensuite aux élèves de construire des connaissances épistémologiquement valides concernant le concept d'énergie, et plus particulièrement l'approche énergétique des phénomènes mécaniques. Pour cela nous avons décrit les changements conceptuels à effectuer. Ce deuxième but introduit une discontinuité épistémologique par rapport au programme traditionnel dans lequel est recherché le « transfert » d'un

contenu conceptuel, sans que des orientations épistémologiques et psychologiques soient explicitement exprimées (Koliopoulos et al., 1996).

À partir des buts généraux précédents nous avons formulé des objectifs didactiques spécifiques. Nous avons cherché alors à introduire le concept d'énergie en nous appuyant sur le modèle de la chaîne énergétique et en limitant le champ d'application aux phénomènes thermiques et mécaniques. Ce choix est justifié à la fois épistémologiquement, (puisqu'il apparaît comme le lieu privilégié de la conceptualisation de l'énergie), et psychologiquement (puisqu'il a été montré que chez un certain nombre d'élèves, on trouve, avant l'enseignement de l'énergie, des représentations qualifiées de « pré-énergétiques ») qui semblent être compatibles avec le modèle de la chaîne énergétique) (Lemeignan & Weil-Barais, 1994 ; Tiberghien & Mégalakaki, 1995 ; Koliopoulos, 1997). Ces représentations « pré-énergétiques » sont fondées sur l'activation du raisonnement linéaire causal « source-action-récepteur » que les élèves utilisent très souvent quand ils essaient de décrire et/ou d'expliquer le fonctionnement de certains systèmes physiques (Tiberghien, 1988 ; Psillos, 1995). Les élèves identifient spontanément un médiateur (qu'ils nomment : force, électricité, chaleur ou énergie selon les caractéristiques phénoménologiques du système physique) qui agit, ou est transféré d'un objet physique (identifié comme source de l'action) vers un objet physique (reconnu comme le récepteur de l'action). Un exemple caractéristique de cette représentation est la réponse d'un élève de 14 ans auquel on a demandé une explication commune aux trois phénomènes physiques suivants : la collision entre une bille en mouvement et une bille immobile, le fonctionnement d'un circuit électrique simple pile-ampoule, et le réchauffement d'une quantité d'eau à l'aide d'un camping-gaz : « *Mon opinion est que dans ces trois phénomènes, quelque chose s'exerce ou se transmet à autre chose. Ainsi a) dans le premier cas, une force s'exerce sur un corps, b) dans le deuxième cas, l'électricité se transmet à un corps et c) dans le troisième cas, la chaleur se transmet à un corps (la casserole transmet la chaleur au liquide). On remarque ainsi que dans les trois phénomènes, quelque chose s'exerce ou se transmet à un corps.* »

Les représentations pré-énergétiques, qui ont un caractère purement qualitatif, sont surtout présentes dans des situations dans lesquelles les phénomènes électriques et thermiques sont dominants, et rarement à l'occasion de phénomènes purement mécaniques sauf s'il s'agit de les comparer à des phénomènes électriques ou thermiques (Koliopoulos, 1997). Nous prenons comme présupposé que ces représentations pré-énergétiques sont pertinentes comme cadre initial de connaissances à partir duquel seront tentés les changements conceptuels recherchés. Par conséquent, le problème de l'élaboration du contenu du programme, quant à l'étude énergétique des phénomènes mécaniques, se pose comme un

problème de transformation des représentations pré-énergétiques des élèves en des conceptions compatibles avec le modèle de la chaîne énergétique.

Ainsi en prenant en compte d'une part les différences conceptuelles entre les représentations pré-énergétiques et le modèle de la chaîne énergétique (par exemple : le caractère qualitatif ou quantitatif des concepts et le niveau du formalisme) et d'autre part les éléments communs (par exemple : la reproduction du raisonnement linéaire causal « source-action-récepteur » ) nous avons conçu le nouveau contenu du curriculum de telle manière que soient facilités :

- la mise en œuvre ou (si besoin est) la construction immédiate d'une conception pré-énergétique qui, pour les élèves, constituera le cadre initial de référence de leurs connaissances relatives à la notion d'énergie ;

- l'élaboration progressive d'une conception quantitative de l'énergie à l'aide de l'introduction d'un « germe de modèle »<sup>4</sup> à savoir d'une forme première de modèle de la chaîne énergétique, de façon à ce que les conceptions pré-énergétiques qualitatives des élèves se transforment en des conceptions plus proches de la connaissance scientifique ;

- la différenciation et l'unification simultanées des concepts énergétiques qui permettent au concept d'énergie d'acquérir un caractère autonome durant son application ;

- l'élargissement progressif du champ d'application du concept afin de fixer les nouvelles représentations énergétiques.

En nous appuyant sur l'ensemble précédent de nos objectifs didactiques, nous avons établi un « noyau dur »<sup>5</sup> en élaborant un certain nombre de principes généraux d'organisation concernant le contenu du nouveau curriculum. Ces principes se réfèrent à l'organisation, à la nature et au champ d'application phénoménologique du contenu.

## 2.1. L'organisation conceptuelle du contenu

L'organisation conceptuelle du contenu consiste d'abord à élaborer une séquence de thèmes. On commence par introduire le concept d'énergie à propos de phénomènes thermiques qui, comme nous l'avons déjà mentionné, permettent facilement l'apparition des représentations pré-énergétiques. Un premier changement conceptuel consiste à passer des représentations pré-énergétiques à la représentation symbolique en chaîne énergétique. Ensuite, on aborde les phénomènes mécaniques (et donc l'énergie mécanique et le travail) en utilisant la représentation en chaîne énergétique construite préalablement (**tableau 2**). Un autre aspect de

l'organisation conceptuelle du contenu est l'élaboration d'une séquence d'approche « qualitative-quantitative » dans laquelle les mesures et les formules mathématiques s'appuient sur la structure qualitative de la chaîne énergétique. Chaque thème comporte une organisation interne en unités conceptuelles en accord avec la suite des objectifs didactiques formulés précédemment (**tableau 2**).

<b>A</b>	<b>PHÉNOMÈNES THERMIQUES ET ÉNERGIE</b>
1	Température – Chaleur – Énergie
2	Mesure de la température
3	Mesure de la variation de l'énergie thermique
4	Pertes d'énergie
5	Comment la chaleur est-elle transférée ?
<b>B</b>	<b>TRANSFORMATION DE LA CHALEUR EN TRAVAIL</b>
6	Effets mécaniques de l'énergie thermique
<b>C</b>	<b>PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES ET ÉNERGIE</b>
7	Quelle forme d'énergie acquiert un corps quand on lui fournit du travail ?
8	Mesure du travail
9	Mesure de la variation de l'énergie cinétique
10	De l'énergie cinétique à l'énergie potentielle

Tableau 2 : **Unités thématiques du programme constructiviste proposé**

L'organisation proposée diffère des approches stéréotypées rencontrées dans les programmes traditionnels (comme celui en vigueur en Grèce) où l'introduction et la conceptualisation de l'énergie s'appuient sur la définition mathématique du travail mécanique, que l'on commence par l'étude des phénomènes thermiques ou par celle des phénomènes mécaniques. De même, elle diffère des approches « phénoménologiques » où l'on demande aux élèves de construire des concepts énergétiques à travers l'étude systématique de situations mono ou pluri-phénoménologiques.

## 2.2. Le contenu conceptuel

Le contenu conceptuel est, comme nous l'avons dit, présenté sous la forme d'un modèle conceptuel que nous nommons chaîne énergétique<sup>6</sup>. Ce modèle fonctionne à trois niveaux.



### **2.2.1. Au niveau verbal qualitatif**

Au niveau verbal qualitatif, l'accent est mis sur les codes de la représentation symbolique. Ce niveau verbal qualitatif peut aider à la transformation des représentations pré-énergétiques qualitatives des élèves en des représentations pré-énergétiques quantitatives, grâce à la distinction faite entre la notion d'énergie stockée, (à savoir l'énergie en tant que caractéristique d'un système physique – par exemple l'énergie cinétique et/ou potentielle –) et l'énergie transférée entre la source et le récepteur pendant la durée du phénomène (par exemple le travail). La représentation symbolique joue un rôle important dans cette distinction où les formes d'énergie stockée correspondent à des rectangles, alors que les formes d'énergie transférée correspondent aux flèches qui relient les rectangles (**voir annexe 1a**).

### **2.2.2. Au niveau quantitatif**

À partir de mesures, les variations d'énergies stockées, notées à l'intérieur des rectangles, sont reliées numériquement aux énergies transférées, notées sur les flèches (**voir annexe 1b**). Cette relation dépend bien sûr d'une conception exprimée ou sous-entendue du principe de conservation de l'énergie.

### **2.2.3. Au niveau des relations entre grandeurs physiques**

Il est possible de représenter les quantités d'énergie par des combinaisons d'autres grandeurs physiques (par exemple, voir en annexe 1c :  $W = F.d$ , entre travail, force et distance). Ces combinaisons prennent leur sens dans le cadre de la chaîne énergétique.

## **2.3. Le champ d'application phénoménologique**

Le champ d'application phénoménologique n'apparaît pas comme un élément indépendant qui jouerait simplement le rôle de support phénoménologique, mais comme un élément intimement lié aux caractéristiques conceptuelles du modèle. Les catégories de phénomènes, considérées comme spécialement pertinentes pour l'application du modèle conceptuel proposé, font intervenir des systèmes thermodynamiques non isolés où les élèves reconnaissent facilement une source d'énergie ainsi qu'un récepteur d'énergie (par exemple : la déformation d'un ressort par un objet, ou encore le fonctionnement d'un modèle de machine thermique). Par contre, des phénomènes tels que le mouvement d'un pendule simple ou l'utilisation du plan incliné en tant que machine simple ne sont pas

	Unité	Situation problématique	Phénomènes physiques	Contenu conceptuel
1	Température-Chaleur-Énergie	Explication du réchauffement d'une quantité d'eau	Réchauffement d'une quantité d'eau à l'aide d'un camping-gaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduction du modèle de la chaîne énergétique</li> <li>- Différenciation des concepts de température, de chaleur et d'énergie au niveau verbal qualitatif</li> </ul>
2	Mesure de la température	Mesure de température	Réchauffement-refroidissement d'une quantité d'eau à l'aide d'un camping-gaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Application du modèle de la chaîne énergétique</li> <li>- Introduction du concept de l'équilibre thermique</li> </ul>
3	Mesure de la variation de l'énergie thermique	Comment mesurer l'augmentation de l'énergie thermique d'un liquide ?	Réchauffement d'une quantité d'eau à l'aide d'un camping-gaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Différenciation des notions de température et d'énergie (thermique) au niveau quantitatif</li> <li>- Renforcement de la nature quantitative de l'énergie avec l'utilisation de l'algorithme <math>\Delta E = mc\Delta\theta</math></li> </ul>
4	Pertes d'énergie	La chaleur fournie par le camping-gaz est-elle toujours égale à l'augmentation de l'énergie thermique de l'eau ?	Réchauffement d'une quantité d'eau à l'aide d'un camping-gaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Différenciation des concepts d'énergie (thermique) et de chaleur au niveau quantitatif</li> </ul>
5	Comment la chaleur est-elle transférée ?	Comment envisager les pertes d'énergie ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réchauffement-refroidissement d'une quantité d'eau contenue dans des récipients de matière différente</li> <li>- Phénomènes de transfert par convection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Application du modèle de la chaîne énergétique</li> <li>- Enrichissement du concept de chaleur au moyen du mécanisme de transfert</li> </ul>
6	Transformation de la chaleur	Description et explication des résultats mécaniques du réchauffement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éjection du bouchon d'un tube à essais contenant de l'eau qui chauffe</li> <li>- Fonctionnement d'une maquette de machine à vapeur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduction du concept de travail, par analogie avec celui de chaleur, en tant que transfert d'énergie en signalant les différents mécanismes de transfert</li> </ul>
7	Quelle forme d'énergie acquiert un corps quand on lui fournit du travail ?	Quelle forme d'énergie acquiert un corps quand on lui fournit du travail ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déplacement d'une voiture poussée par un homme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Différenciation entre concept de travail et différentes formes d'énergie stockée (au niveau verbal /qualitatif)</li> </ul>

8	Mesure du travail	Comment mesurer le travail ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déplacement d'une voiture poussée par un homme</li> <li>- Fonctionnement de machines simples (levier et poulie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renforcement de la nature quantitative de l'énergie avec l'utilisation de l'algorithme <math>W=Fd</math></li> <li>- Différenciation des concepts de force et de travail aux niveaux verbal et symbolique et au niveau des grandeurs physiques</li> </ul>
9	Mesure de la variation de l'énergie cinétique	Quelle est la quantité d'énergie cinétique que les corps acquièrent ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déplacement d'une voiture poussée par un homme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Élaboration d'une forme simplifiée du théorème de l'énergie cinétique</li> </ul>
10	De l'énergie cinétique à l'énergie potentielle	Les corps possèdent-ils de l'énergie quand ils ne bougent pas ?	Lancement d'une flèche au moyen d'un arc tendu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduction à la transformation de l'énergie cinétique en énergie potentielle et vice versa</li> </ul>

Tableau 3 : Succession des unités qui s'appuient sur le noyau dur du contenu conceptuel proposé

spécialement pertinents pour la construction du modèle « chaîne énergétique ».

Les principes précédents d'élaboration du contenu du nouveau programme concernant l'énergie se sont opérationnalisés dans une série de séquences didactiques assurant une certaine continuité avec les traditions et les exigences du programme grec en vigueur, afin d'en faciliter la faisabilité. Le **tableau 3** donne l'opérationnalisation de l'organisation conceptuelle, présentée au tableau 2. Une évaluation de la validité de cette organisation conceptuelle sera décrite au paragraphe suivant.

### 3. L'ÉVALUATION DE LA VALIDITE DU CURRICULUM

La question principale était de savoir si le curriculum proposé pour l'énergie mécanique conduisait un nombre significatif d'élèves à des constructions conceptuelles fonctionnelles, dans les conditions d'enseignement actuellement en vigueur et en conservant l'organisation d'une classe traditionnelle. Une forme d'évaluation expérimentale, celle du produit de l'apprentissage, a été élaborée (Niedderer et al., 1991). En effet, notre objet d'étude était l'impact du curriculum proposé ; ce sont les apprentissages produits qui en donnent une mesure. La technique utilisée fut celle du questionnaire, avant et après enseignement, avec les mêmes questions. Nous avons utilisé cette technique, courante dans les pratiques de recherche, car elle permet une comparaison des résultats sans avoir à s'assurer de l'isomorphisme (toujours problématique) des questions avant et après. Le post-test étant passé six mois après le pré-test on peut supposer que les différences mises en évidence sont liées à l'enseignement et non à un effet de mémoire. Avant l'enseignement, fondé sur le curriculum constructiviste étudié ici, les élèves avaient suivi un cours élémentaire de mécanique concernant les forces, la mesure des forces, la cinématique élémentaire. Le seul enseignement concernant l'énergie remontait à l'école élémentaire, deux ans plus tôt, et comportait des définitions qualitatives des différentes formes d'énergie, en relation avec des exemples de la vie quotidienne.

L'enquête s'adressait à des élèves de 13-14 ans. L'échantillon comprenait 118 élèves de la même école divisés en quatre groupes. Ces derniers ont répondu à cinq questions (présentées en **annexe 2**) choisies selon les trois critères suivants :

- on les rencontre souvent dans les manuels scolaires ;
- les élèves peuvent répondre en utilisant exclusivement un raisonnement énergétique ou en utilisant une approche cinématique/

potentielle, c'est-à-dire en utilisant les concepts de force, de vitesse, de distance et de temps ;

– ces questions permettent de contrôler l'acquisition, au niveau quantitatif, du modèle de la chaîne énergétique.

Il s'agit de questions à choix multiple dans lesquelles il est demandé aux élèves de comparer deux situations concernant le même phénomène physique et différant sur le plan quantitatif, c'est-à-dire que certaines grandeurs physiques (la force, l'énergie, la vitesse, etc.), prennent des valeurs différentes d'une situation physique à l'autre (Weil-Barais, 1987). Les élèves devaient justifier leur choix à chaque question.

L'analyse des données a été réalisée à deux niveaux : au niveau descriptif-quantitatif où nous avons déterminé les fréquences relatives et absolues des réponses et des justifications respectives des élèves, et au niveau qualitatif où nous avons analysé ces justifications. Notre intérêt, dans cet article, sera focalisé sur l'analyse des justifications des apprenants, analyse qui mettra en évidence les différentes représentations à propos de l'énergie. **Le tableau 4** présente une hiérarchie des catégories de justification des élèves en les reliant aux types de descripteurs utilisés. Les six catégories ont été établies par une analyse *a priori* des questions et à partir de résultats de recherches préalables (Weil-Barais, 1987). Dans ce même tableau nous donnons des réponses d'élèves illustrant chaque catégorie.

Catégorie	Analyse	Exemple
1E	Expression correcte qui comprend une description complète et lisible des éléments conceptuels de la chaîne énergétique (p.e., présentation complète des transferts et/ou transformations de l'énergie)	<i>Je pense que le ressort sera moins comprimé. Et cela parce que nous savons que <math>E_p = B h</math>. Dans le 1er cas, on a <math>E_p = B h</math>. Dans le 2ème, <math>h</math> ayant diminué quand <math>h</math> se multipliera avec <math>B</math>, l'énergie potentielle sera moins grande que dans le 1er cas. En ayant une énergie potentielle moins grande, moins grand sera le <math>W</math> donné au ressort qui sera moins comprimé.</i>
2E	Expression correcte qui comprend une description incomplète et moins lisible des éléments conceptuels de la chaîne énergétique (p.e., présentation incomplète des transferts et/ou transformations de l'énergie)	<i>La réponse juste est la b, car quand on laisse la bille tomber, son énergie potentielle se transforme en énergie cinétique. Si l'on réduit l'inclinaison de la planche, alors l'énergie cinétique se réduit et le ressort sera donc moins comprimé.</i>
3E	Utilisation incorrecte des éléments conceptuels d'approche énergétique	<i>Le ressort sera moins comprimé si la planche a une moins grande inclinaison car l'énergie potentielle (c'est-à-dire l'énergie de déformation d'un corps) dépend du poids du corps (qui est le même dans les deux cas) mais aussi de la hauteur depuis laquelle il tombe (<math>E_p = B h</math>). Ainsi la hauteur étant plus petite, l'énergie potentielle sera moindre et le ressort sera moins comprimé.</i>
C/P	Utilisation correcte ou incorrecte d'éléments conceptuels d'une approche cinématique/potentielle	<i>Le ressort sera moins comprimé car plus l'inclinaison est réduite, plus petite est la force que la bille acquiert. Dans le 1<sup>er</sup> cas, le poids sera neutralisé par <math>F</math> mais moins que dans le 2e cas.</i>
Ph	Description en termes d'événements ou utilisation d'une simple réflexion qui comprend des éléments phénoménologiques du problème	<i>Le ressort sera moins comprimé car quand on réduit l'inclinaison de la planche se réduit également la force avec laquelle la bille tombe, c'est-à-dire sa vitesse. Et cela dépend de l'inclinaison de la planche : plus elle est raide et plus la bille prend d'élan.</i>
X	Juxtaposition ou mélange de descriptions en termes énergétiques et de descriptions en termes phénoménologiques ou d'autres cadres conceptuels	<i>Le ressort sera moins comprimé car l'inclinaison de la planche sera plus petite (réduite) et la bille tombera ainsi avec une force moins grande sur le ressort et celui-ci sera moins comprimé. C'est-à-dire que seront réduites son énergie potentielle et cinétique (<math>E_p = B h</math>).</i>

**Tableau 4 : Catégories des justifications des élèves ayant répondu au questionnaire d'évaluation**

L'étude des justifications des élèves au pré-test montre que, à propos des phénomènes mécaniques en question, aucun élève n'a présenté de représentation compatible avec des concepts énergétiques (des représentations pré-énergétiques par exemple) ni n'a utilisé le terme

d'énergie ou ne serait-ce qu'une des formes alternatives présentées dans la bibliographie (Driver et al., 1994). La non apparition de telles représentations est due au fait que, comme nous l'avons déjà noté, les élèves n'expriment pas spontanément de telles conceptions quand ils décrivent et/ou expliquent des phénomènes mécaniques. Il semblerait donc que l'intervention didactique devienne une condition *sine qua non* à la formation par les élèves de conceptions pré-énergétiques évoluant ensuite en conceptions énergétiques.

**Le tableau 5** offre une image complète de l'analyse quantitative des résultats du post-test. Y figure l'ensemble des fréquences relatives et absolues des catégories des justifications données par les élèves à chaque question. Une sixième colonne indique le nombre d'élèves qui, dans plus de trois questions sur cinq, utilisent des justifications considérées comme liées à des conceptions énergétiques correctes (E1 et E2). Les résultats de cette colonne sont particulièrement significatifs car ils informent sur le nombre d'élèves ayant élaboré une conception énergétique plus opérationnelle, ce qui représente une preuve crédible d'un changement conceptuel efficace des élèves.

	1	2	3	4	5	1/2E>= 3
<b>1E</b>	28 24%	25 21%	29 25%	11 9%	31 26%	32 27%
<b>2E</b>	6 5%	27 23%	6 5%	0	15 13%	
<b>3E</b>	1	1	1	16 14%	14 12%	
<b>C/P</b>	0	0	1	1	0	
<b>X</b>	24 20%	23 19%	24 20%	23 19%	20 17%	
<b>Ph</b>	59 50%	41 35%	56 47%	66 56%	32 27%	
<b>sans justification</b>	0	1	1	1	6 5%	
<b>TOTAL</b>	<b>118</b>	<b>118</b>	<b>118</b>	<b>118</b>	<b>118</b>	

**Tableau 5 : Fréquences relatives et absolues des réponses au post-test dans les catégories des justifications**

D'après ce tableau, les conceptions énergétiques opérationnelles sont disponibles pour un tiers environ des élèves. Plus précisément, il semble que les élèves donnent des justifications qui ne comportent pas uniquement les relations quantitatives nécessaires ; ils expriment des éléments qualitatifs du modèle de la chaîne énergétique, comme la source et le récepteur d'énergie, ou encore le processus de transfert de l'énergie.

**Le tableau 6** présente, à titre d'exemple de ce que nous nommons « conception énergétique opérationnelle », les justifications données par un élève qui a suivi l'enseignement dans le cadre du curriculum constructiviste.

Question	Justification	Catégorie
1	$W_1 = F d$ , $W_2 = 2 F d$ donc $W_2$ est le double de $W_1$ . Le conducteur a dépensé plus de calories dans le deuxième cas car la distance $d$ étant doublée, la conséquence logique est l'augmentation du travail donné.	1E
2	Si l'on réduit l'inclinaison de la planche, le ressort sera moins comprimé. Selon la formule de l'énergie potentielle $E_{p \text{ hauteur}} = B h$ . C'est-à-dire que plus la hauteur $h$ est réduite, plus l'inclinaison se réduit et donc l'énergie potentielle puisque le poids reste stable. Par la suite, l'énergie potentielle se transforme en énergie cinétique. Il est ainsi normal que plus l'énergie cinétique est petite, plus petite sera la vitesse avec laquelle la bille tombera et donc moins le ressort sera comprimé.	1E
3	On sait que l'énergie potentielle est donnée par la formule $E_{p \text{ hauteur}} = B h$ . Au troisième étage ou d'ailleurs $h$ (hauteur) augmente, augmente en même temps l'énergie potentielle. Le fait que l'énergie potentielle augmente présuppose que la source d'énergie augmente la quantité d'énergie qu'elle donne. Donc dans le deuxième cas, nous consommons davantage de calories.	1E
4	Puisque dans le deuxième cas, on parcourt une plus petite distance cela a pour conséquence un moins grand besoin de temps que dans le premier, donc la vitesse qu'acquiert la caisse est plus grande dans le deuxième cas, en considérant que le poids et la force sont stables.	C/P
5	La vitesse avec laquelle la voiture heurte le ressort est égale à celle qui la propulse car la voiture possède une énergie cinétique qui est transmise au ressort. Celui-ci en la possédant la transforme en énergie de déformation ou de contraction si l'on peut dire. Cependant l'énergie retrouve à la fin sa forme initiale.	1E

**Tableau 6 : Exemple de « conception énergétique opérationnelle » d'un élève qui a suivi l'enseignement dans le cadre du programme constructiviste**



Nombreux sont ceux qui, malgré tout, ne sont pas parvenus à surmonter les représentations phénoménologiques exprimées au pré-test. En effet, soit elles sont reproduites telles quelles, soit elles sont mélangées à des éléments du cadre énergétique, comme dans le cas suivant : « *Le chauffeur a consommé plus de calories parce qu'il dit avoir exercé la même force sur toute la durée mais en ayant parcouru une distance deux fois supérieure. Ainsi, la deuxième fois en poussant sa voiture sur une double distance l'homme a-t-il perdu plus de calories parce qu'il a fait un plus grand effort. C'est-à-dire que le travail qu'il a fourni pour pousser la voiture était plus grand et il a ainsi par conséquent consommé plus de calories* » (question 1). Nous avons classé ces conceptions sous la catégorie X, en évitant de les définir comme énergétiques, puisque nous ne sommes pas sûrs que ces conceptions soient utilisées de façon fonctionnelle par les élèves, c'est-à-dire qu'elles soient mises en rapport direct avec les caractéristiques phénoménologiques et conceptuelles particulières au phénomène physique considéré.

Il faut aussi noter le petit nombre de justifications pour lesquelles a été utilisé un cadre conceptuel cinématique/potentiel. Petit nombre qui peut s'expliquer par le faible temps d'enseignement consacré à des sujets traditionnels du curriculum grec comme l'étude du mouvement des corps et l'introduction au concept de la force newtonienne. Ce faible temps d'enseignement, résultant des objectifs cognitifs du curriculum proposé, semble avoir empêché les élèves de combiner les différents cadres, ce qui a entraîné la domination des conceptions énergétiques. Cependant, comme l'analyse qualitative l'a montré, ces conceptions (cinématiques/potentielles) étaient souvent justes et complètes.

#### 4. DISCUSSION

On peut se demander si le pourcentage d'élèves ayant utilisé des représentations énergétiques, après enseignement dans le cadre du curriculum constructiviste, est satisfaisant. Une réponse positive permettrait de conclure que le noyau dur du curriculum est fonctionnel, c'est-à-dire applicable dans des situations réelles d'enseignement. La réponse dépend bien sûr des critères adoptés. Si on considère la bibliographie concernant les représentations des élèves relatives aux concepts énergétiques dans le domaine de la mécanique, alors, un tiers des élèves capables de répondre en utilisant des concepts énergétiques peut être apprécié comme un progrès notable. Les pourcentages précédents peuvent être décrétés satisfaisants. Un autre critère que l'on pourrait prendre en compte est celui de la qualité des conceptualisations finales des élèves. Nous évaluons la qualité des conceptualisations de deux façons : le fait qu'elles sont utilisées pour la

justification dans au moins trois questions sur cinq (voir dernière colonne du tableau 5), la complétude et la clarté (voir tableau 6).

Les conclusions précédentes valident notre hypothèse que, au premier niveau de l'enseignement secondaire, le noyau dur du curriculum proposé permet des apprentissages opérationnels des concepts énergétiques dans le domaine de la mécanique. La chaîne énergétique, qui constitue l'élément conceptuel central du noyau dur, semble être le vecteur principal des conceptualisations. Un aspect important de notre démarche est que la conceptualisation en chaîne énergétique s'appuie sur des représentations initiales des élèves : les représentations pré-énergétiques<sup>7</sup>. Cette compatibilité est due à des ressemblances syntaxiques et au type d'explication donnée<sup>8</sup>. La conceptualisation en termes de chaîne énergétique organise et facilite le passage d'une approche qualitative à une approche quantitative et l'utilisation des propriétés analogiques du modèle de la chaîne énergétique. Ces deux aspects ont permis l'introduction des concepts particulièrement abstraits de travail, d'énergie cinétique et d'énergie potentielle, dans un deuxième temps, après l'approche des éléments du modèle de la chaîne énergétique à travers l'élaboration des phénomènes thermiques pour lesquels les élèves expriment plus facilement des conceptions pré-énergétiques.

Est-il possible d'améliorer l'apprentissage produit par ce curriculum ? La réponse à cette question semble positive puisque le noyau dur du curriculum constitue un cadre et une organisation et non une méthode d'enseignement, c'est-à-dire qu'il ne comporte pas d'informations sur la façon dont le contenu sera mis en oeuvre par celui qui passerait de ce noyau dur à un programme d'enseignement précis. Si, par exemple, la stratégie d'enseignement était, elle aussi, pensée dans le cadre constructiviste (comme le décrit un certain nombre d'études que nous avons présentées au début de cet article), on peut espérer une augmentation du nombre d'élèves qui conceptualiseraient de manière opérationnelle l'approche énergétique des phénomènes mécaniques. Une étude plus systématique donnerait évidemment des réponses précises à la question précédente.

Comme nous l'avons vu, ce curriculum donne des résultats intéressants pour la conceptualisation de l'énergie mécanique. Peut-on envisager le même type de construction de curriculum pour généraliser le concept d'énergie à d'autres champs de phénomènes (comme les phénomènes biologiques) ou avec des élèves plus jeunes ou plus âgés ? Pour toutes ces raisons, le programme de recherche de l'enseignement et/ou de l'apprentissage de l'énergie dans le cadre de la didactique des sciences physiques reste un programme de recherche progressif, vivant et ouvert.

## NOTES

1. Nous nous basons sur des échantillons issus de la population grecque.

2. Terme emprunté à Tobin et al. (1994).

3. Menck (1995) mentionne une catégorisation utile des manières d'approche du programme, et distingue quatre niveaux d'intervention : le niveau politique où sont formulés les principes de base du système éducatif ; le niveau d'un domaine comme les sciences physiques, où les principes de base du système éducatif sont formulés pour le domaine en question ; le niveau de l'unité thématique, où sont abordés des sujets comme ceux de l'élaboration du contenu du programme sur une ou plusieurs unités didactiques, ou ceux de l'élaboration des manuels scolaires, et enfin le niveau de la classe, où l'on insiste sur l'organisation et l'application en classe des activités didactiques en général. Notre étude concerne principalement le niveau de l'unité thématique.

4. Le terme est utilisé dans le cadre de la recherche francophone (Méheut et al., 1987 ; Tiberghien & Mégalakaki, 1995). On le rencontre dans des interventions relatives à des objets d'enseignement particulièrement abstraits, comme l'énergie ou la théorie corpusculaire, où il est difficile de trouver des représentations auxquelles peut s'appliquer l'enseignement constructiviste.

5. Par « noyau dur » du contenu du curriculum nous entendons les sélections principales qui concernent l'organisation conceptuelle, sa nature et son champ d'application, en se basant sur les intentions et les objectifs didactiques qui se formulent. Il est impossible de douter de ces sélections quant à une éventuelle application du curriculum dans l'enseignement. Mais elles ne peuvent que se spécifier, se compléter et/ou s'adapter dans le cadre de l'enseignement où le noyau dur sera appliqué.

6. La transposition du fonctionnement d'un système thermodynamique ouvert peut conduire à plusieurs modèles de chaîne énergétique ayant des propriétés similaires (Koliopoulos, 1997). Un des critères principaux, dans le cas du choix d'un programme constructiviste, est le degré de compatibilité du modèle avec les représentations des élèves. Dans notre cas, par exemple, ce sont la structure et le contenu des représentations pré-énergétiques des élèves qui ont conduit au choix d'un tel modèle dans lequel, d'une part, apparaissent clairement les sources et les récepteurs d'énergie et, d'autre part, soient déclarées les formes de transfert de l'énergie. En annexe 1 est donné un exemple des différents niveaux du modèle de chaîne énergétique. Ce modèle s'écarte de l'approche du

physicien qui tiendrait compte des échanges de chaleur entre l'homme et l'environnement, l'homme et le sol et/ou la voiture et l'environnement.

7. Les représentations pré-énergétiques constituent un précurseur indispensable pour la conceptualisation en termes de chaîne énergétique ; c'est pourquoi le curriculum est conçu de façon à les faire construire si elles ne sont pas initialement présentes chez les élèves.

8. D'après la typologie de Halbwachs (1973), le genre de l'explication donnée tant par le modèle de la chaîne énergétique que par les représentations pré-énergétiques correspond à une explication hétérogène ou causale, selon laquelle la cause est en rapport avec les facteurs extérieurs du changement du système physique étudié. Les deux autres genres d'explication de la typologie sont l'explication homogène, qui se réfère à une description interne du système physique et l'explication bathyène qui demande le recours au niveau microscopique.

## BIBLIOGRAPHIE

- AGABRA J. (1986). Échanges thermiques. *Aster*, n° 2, pp. 1-41.
- CLIS Project (1987). *Approaches to teaching energy*. Leeds, University of Leeds.
- DRIVER R. & MILLAR R. (1985). *Energy matters*. Leeds, University of Leeds.
- DRIVER R. & OLDHAM V. (1986). The constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, n° 13, pp. 105-122.
- DRIVER R., SQUIRES A., RUSHWORTH P. & WOOD-ROBINSON V. (1994). *Making sense of secondary science. Research into children's ideas*. London, Routledge.
- DUIT R. (1985). In search of an energy concept. In R. Driver & R. Millar (Éds), *Energy Matters*. Leeds, University of Leeds, pp. 67-101.
- DUIT R. & HAEUSSLER P. (1994). Learning and Teaching Energy. In P. Fensham, R. Gunstone & R. White (Éds.), *The Content of Science. A Constructivist Approach to its teaching and learning*. London, The Falmer Press, pp. 185-200.
- FENSHAM P.J., GUNSTONE R.F. & WHITE R.T. (1994). Science content and Constructivist Views of Learning and Teaching. In P. Fensham, R. Gunstone & R. White (Éds), *The Content of Science. A Constructivist Approach to its teaching and learning*. London, The Falmer Press, pp. 1-8.
- GUIDONI P. (1985). A phenomenological approach to the development and differentiation of energy ideas. In R. Driver & R. Millar (Éds), *Energy Matters*. Leeds, University of Leeds, pp. 103-132.
- HALBWACHS F. (1973). L'Histoire de l'explication en Physique. *L'Explication dans les Sciences*. Paris, Flammarion, pp. 72-102.
- KOLIOPOULOS D. (1997). *Approches épistémologiques et didactiques du processus de construction de curriculum : Le cas de la transposition didactique et de l'apprentissage du concept d'énergie*. Thèse, Université de Patras.
- KOLIOPOULOS D. & TIBERGHIE A. (1986). Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèves. *Aster*, n° 2, pp. 167-178.

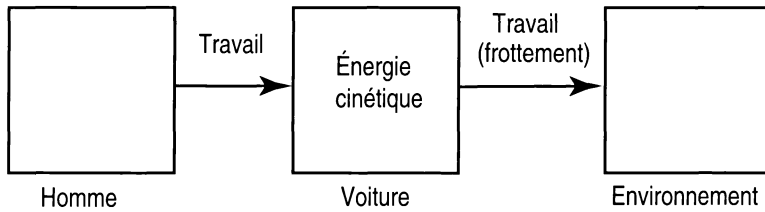
- KOLIOPOULOS D., BAGAKIS G. & PAPAMICHAEL Y. (1996). Qualitative analysis of junior secondary science textbooks : the case of energy concept. In M. Kondyli & Y. Papamichael (Éds), *Textbooks : Research and Evaluation*. Athens, Hellenique National Commission for the UNESCO, pp. 153-161.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1990). *L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie, Rapport de recherche*. Paris, LIREST Université Paris 7.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, vol. 16, n° 1, pp. 99-120.
- LIJNSE P. (1990). Energy between the life-world of pupils and the world of Physics. *Science Education*, vol. 74, n° 5, pp. 571-583.
- MÉHEUT M., LARCHER C., CHOMATA. & BARBOUX M. (1987). *Modèle particulière et activités de modélisation en classe de 4ème. Rapport de fin de contrat MIR-MEN. Enseignement et apprentissage de la modélisation*. Paris, LIREST Université Paris 7.
- MENCK P. (1995). « Bildung » – A core of german Didactics. Paper presented in the *European Conference on Educational Research 95*, University of Bath.
- MILLAR R. (1989). Constructivism criticisms. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 6, pp. 587-596.
- NIEDDERER H., GOLDBERG F. & DUIT R. (1991). Towards learning process studies: a review of the workshop on research in physics learning. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Éds), *Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel, IPN University of Kiel, pp. 10-28.
- PSILLOS D. (1995). Adapting science teaching to student's reasoning. In D. Psillos (Éd), *Proceedings of the 2nd PhD Summerschool "European Research in Science Education"*. Thessaloniki, Art of Text, pp. 57-71.
- SHIPSTONE D.M. & GUNSTONE R.F. (1985). Teaching children to discriminate between current and energy. In R. Duit, W. Jung & C. von Rhoneck (Éds), *Aspects of understanding electricity*. Kiel, IPN University of Kiel, pp. 287-297.
- SOLOMON J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, vol. 20, pp. 165-170.
- SOLOMON J. (1992). *Getting to know about energy - in school and society*. London, The Falmer Press.
- TIBERGHIE A. (1988). Learning and teaching at middle school level of concepts and phenomena in physics: the case of temperature. In H. Mandl, E. De Corte, N. Bennett & H.F. Friedrich (Éds), *Learning and Instruction : European research in an International context*. Oxford, Pergamon Press, pp. 631-648.
- TIBERGHIE A. & MEGALAKAKI O. (1995). Characterisation of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education*, vol. X, n° 4, pp. 369-383.
- TOBIN K., TIPPINS D.J. & GALLARD A.J. (1994). Research on instructional strategies for teaching science. In D.L. Gabel (Éd.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York, Macmillan Publishing Company, pp. 45-93.
- 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, pp. 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, pp. 1-10.
- WEIL-BARAIS A. (1987). *Manuel pratique de méthodologie pour la recherche en Didactique des Sciences Expérimentales : analyse des données*. Paris, LIREST Université Paris 7.

## **REMERCIEMENTS**

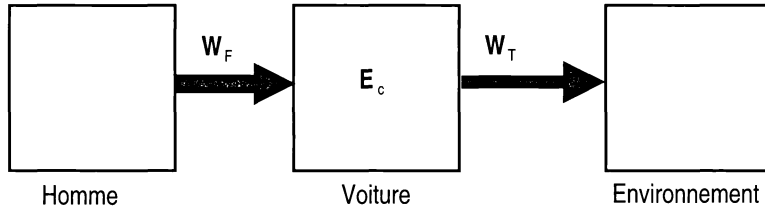
Nous remercions vivement A. Dumas-Carré et A. Weil-Barais pour la révision du texte français et pour leurs très intéressantes remarques.

## ANNEXE 1

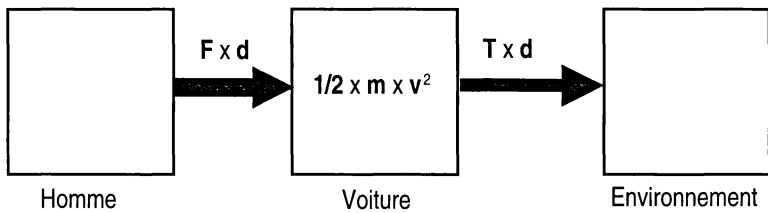
Exemple de représentation symbolique d'une chaîne énergétique. Cette représentation réfère au déplacement d'une voiture poussée par un homme.



Annexe 1a



Annexe 1b



Annexe 1c

## ANNEXE 2

### Questionnaire donné aux élèves avant et après enseignement.

1. Un conducteur pousse sa voiture en panne d'essence sur l'autoroute sur une distance de 20 mètres. Il se repose un peu puis repousse la voiture en couvrant une distance deux fois supérieure. Dans les deux cas, il exerce la même force sur le véhicule. Laquelle des phrases suivantes est-elle juste ?

a. Le conducteur a dépensé plus de calories dans le premier cas. b. Le conducteur a dépensé le même nombre de calories dans les deux cas. c. Le conducteur a dépensé plus de calories dans le deuxième cas. Justifiez votre réponse.

2. On laisse glisser une bille de fer sur une planche. Au coin de la planche, un ressort retient la bille qui tombe. Si l'on diminue l'inclinaison de la planche, c'est-à-dire si la bille tombe de moins haut, tout en couvrant la même distance, laquelle des phrases suivantes est-elle juste ?

a. Le ressort va se compresser davantage. b. Le ressort va moins se compresser. c. Le ressort va se compresser autant. Justifiez votre réponse.

3. Sur un chantier, un ouvrier fait monter avec l'aide d'une poulie et avec une vitesse régulière un chargement de briques de 40 kilos. La première fois, le chargement monte du rez-de-chaussée au deuxième étage. La deuxième fois, il monte du rez-de-chaussée au troisième étage. Laquelle des phrases suivantes est-elle juste ?

a. L'ouvrier dépense plus de calories dans le premier cas. b. L'ouvrier dépense le même nombre de calories dans les deux cas. c. L'ouvrier dépense plus de calories dans le deuxième cas. Justifiez votre réponse.

4. Un déménageur pousse une caisse sur une route horizontale sur une distance de 10 mètres. Un peu plus tard, le même déménageur, sur la même route, pousse une caisse du même poids, en employant la même force constante, sur une plus petite distance. Dans les deux cas, il exerce la même force sur la caisse. Laquelle des phrases suivantes est-elle juste ?

a. La caisse acquiert une plus grande vitesse dans le premier cas. b. La caisse acquiert la même vitesse dans les deux cas. c. La caisse acquiert une plus grande vitesse dans le deuxième cas. Justifiez votre réponse.

5. Une petite voiture-jouet vient heurter un ressort, elle est stoppée alors que le ressort se contracte puis elle est propulsée vers l'arrière. La vitesse avec laquelle la voiture est propulsée vers l'arrière est a. plus grande, b. plus petite, c. égale à la celle avec laquelle elle heurte le ressort. Justifiez votre réponse.

Cet article a été reçu le 13/11/97 et accepté le 10/06/98.