

# L'INTUITION, OBSTACLE À L'ACQUISITION DE CONCEPTS SCIENTIFIQUES

## Propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en Première S

Pascal Ballini  
Guy Robardet  
Jean-Michel Rolando

*Les concepts des sciences physiques (et donc celui d'énergie) sont dans l'ensemble hautement structurés et ne peuvent pas se construire à l'issue d'une démarche inductiviste dans laquelle on ferait "sentir" leurs différents aspects. Notre hypothèse est qu'un des obstacles aux apprentissages scientifiques réside dans la mise en œuvre, par les apprenants, de raisonnements guidés par l'intuition sensible (difficulté à conceptualiser ce qui ne se perçoit pas). Nous proposons une alternative dans le cas du concept d'énergie. Ce qui ne peut pas être perçu peut être construit en imposant aux apprenants de respecter la cohérence d'un édifice théorique. Ainsi, des concepts comme celui d'énergie potentielle ou d'énergie interne peuvent-ils être rendus nécessaires et devenir de véritables outils et non de simples objets d'enseignement. Ce faisant, on donne à l'apprenant la possibilité d'auto-contrôler son raisonnement par un autre moyen que sa seule intuition.*

### 1. ÉLÈVES ET ÉTUDIANTS FACE AU CONCEPT D'ÉNERGIE

comme  
beaucoup  
de concepts  
en sciences  
physiques,  
celui d'énergie  
passe mal

Différentes recherches ont donné lieu à des résultats significatifs qu'il est intéressant de rappeler.

#### 1.1. Le concept d'énergie chez des lycéens et des étudiants scientifiques : un bilan plutôt négatif

de nombreuses  
confusions  
ont été repérées  
chez  
des étudiants  
scientifiques

Avant d'en rechercher les causes et d'avancer quelques propositions, arrêtons-nous un instant sur ce bilan.

- La chaleur est souvent considérée comme l'unique cause possible du changement de température. Une importante conséquence est une grosse difficulté dans l'acquisition du concept de travail, confirmée notamment par une étude réalisée avec des étudiants du premier cycle de l'enseignement supérieur (Rozier 1988). L'augmentation de température dans une compression adiabatique est très souvent interprétée en évoquant une intervention de la chaleur. Le travail n'est pas reconnu comme une grandeur énergétique suscep-

confusion  
entre chaleur,  
température  
et énergie  
interne

loin d'être maîtrisé,  
le principe  
de conservation  
ne fait pas l'objet  
d'une "application  
réflexe"

les raisonnements  
sont du type  
linéaire causal

tible de faire varier la température des systèmes entre lesquels il se transfère.

- Des confusions aussi fortes apparaissent également lorsqu'il est question d'énergie interne. Ainsi, celle d'un morceau de plomb en train de fondre est souvent considérée comme constante, parce que sa température est constante (Rozier 1988).

- Le principe de conservation de l'énergie est peu opérationnel. Driver, Warrington (1985) ont montré que des étudiants l'ayant pourtant étudié mettent préférentiellement en œuvre d'autres raisonnements, pas toujours judicieux...

- Face à certaines situations, des étudiants dont le niveau pourrait laisser penser qu'ils maîtrisent parfaitement le principe de conservation, fournissent des formulations incompatibles avec celui-ci. Nous nous fondons sur l'étude déjà citée de S. Rozier : bien qu'on continue à chauffer le plomb, dans un contexte où les pertes sont négligeables, de nombreux étudiants considèrent que son énergie interne n'augmente pas ! Un autre travail mené avec des lycéens scientifiques (Cachapuz, Martins, 1987) est particulièrement intéressant. Nous l'avons repris avec des étudiants préparant le CAPES de sciences physiques. Une réaction se déroule dans un calorimètre parfaitement isolé et s'accompagne d'une variation de température. De nombreuses réponses affirment que l'énergie interne du milieu réactionnel varie !!

Il peut sembler étonnant que le public interrogé, à ce stade des études, soit aussi peu à l'aise dans le maniement du concept d'énergie. Nous avancerons quelques hypothèses dans le paragraphe 2.4.

- Différents auteurs (Closset 1983 ; Rozier 1988, 1991 ; Viennot 1989 a, 1989 b, 1992) ont montré la prégnance de la causalité linéaire dans les modes de raisonnement spontanément utilisés par les élèves ou étudiants de tous âges et dans de nombreux domaines. Ce mode de raisonnement se caractérise par la recherche d'une relation causale du type  $A \Rightarrow B$ , telle qu'une modification de B soit sans influence sur A, et qu'une modification de A n'intéresse B qu'avec un certain retard lié à une propagation. Un tel raisonnement constitue un obstacle de trois points de vue.

- En refusant l'effet de rétroaction de B sur A, il fait obstacle à l'acquisition de modes de raisonnement utilisés dans les nombreux cas de causalité physique réciproque ou circulaire (sens défini par Halbwachs, 1971).

- En attribuant à l'effet un retard systématique par rapport à la cause, il fait obstacle à l'acquisition des raisonnements classiques portant sur les transformations quasi-statiques dans lesquelles les relations numériques reliant les différentes variables sont à tous moments vérifiées. L'implication logique qui caractérise ces situations se démarque de la chronologie.

- Un tel raisonnement est essentiellement local en ce sens qu'il ne prend pas comme objet d'étude un système caractérisé par son état et ses interactions, mais une entité (énergie, chaleur, électricité, signal...) qui subit en général un déplacement, et qui rencontre des oppositions au cours de celui-ci.

## 1.2. Petit détour par les conceptions des "non-spécialistes"

l'examen  
des conceptions  
des "non-  
spécialistes"...

Notre projet d'enseignement s'adresse à des lycéens de Première S, qui doivent en une année scolaire acquérir une importante maîtrise du concept, mais qui débute tout de même dans cet apprentissage. Nous faisons l'hypothèse que le mot "énergie" fait partie de leur vocabulaire courant, et que le sens qui lui est assigné entrera nécessairement en interaction avec l'enseignement dispensé. Il nous semble donc intéressant de bénéficier de l'éclairage des études menées auprès des "non-spécialistes". Nous englobons sous ce vocable des sujets jeunes ou plus âgés mais qui ne sont plus ou n'ont jamais été dans le "bain" des classes scientifiques. De très nombreuses études ont été menées. Elles visent à identifier les associations établies spontanément entre le terme "énergie" et un certain nombre de situations concrètes. Plusieurs revues de littératures font une synthèse des résultats obtenus (Tiberghien, Koliopoulos, 1986 ; Brook, 1986). La présentation que nous en ferons nous-mêmes est déterminée par notre projet d'enseignement. Nous remarquerons dans un premier temps que certaines composantes du concept d'énergie pourront certainement se construire en prenant appui sur le sens que les élèves lui attribuent, donc sans conflit majeur. Mais l'abstraction nécessaire à l'élaboration du concept scientifique dans sa généralité ne se fera pas sans rupture dans la façon de penser, ce que nous développerons dans le cas des énergies potentielles d'interaction et dans celui du principe de conservation.

### • *Quelques points d'appui*

...montre  
que certains  
aspects pourront  
se construire  
en continuité  
avec les idées  
initiales...

La prédisposition des jeunes élèves à raisonner en termes de "posséder, donner, recevoir", dans le cadre d'un raisonnement linéaire causal, a été remarquée dans de nombreux domaines et a fait l'objet d'une discussion dans le paragraphe 1.1. S'il s'agit d'un obstacle majeur à la construction de certains concepts (force, courant électrique) et à la constitution d'autres modes de raisonnements (bilans), il pourrait quand même y avoir là un schème facilitant pouvant servir de point d'appui au début de l'apprentissage. Cela a d'ailleurs donné lieu à des recherches importantes dans le domaine de l'énergie (Lemeignan, Weil-Barais, 1990 b ; Tiberghien, 1991).

L'idée que les jeunes sujets (ou les non-spécialistes) se font de l'énergie devrait les amener à identifier sans grosse diffi-

culté les différents modes de transfert, et, probablement, la forme macroscopique de l'énergie cinétique. En effet, les situations dans lesquelles interviennent des forces en mouvement sont généralement identifiées comme mettant en jeu de l'énergie (Watts, 1983 ; Bliss, 1985 ; Giraudo, Viglietta, 1989). La chaleur et le rayonnement sont bien reconnus lorsque leur débit est important (Watts, 1983 ; Giraudo, Viglietta, 1989). Les transferts, non directement perceptibles, devront toutefois faire l'objet d'une attention particulière (Solomon, 1983 b). En ce qui concerne l'énergie cinétique macroscopique, les recherches effectuées dans le contexte de l'enseignement ou après celui-ci ne signalent aucune difficulté particulière (Solomon, 1983 b ; Brook, 1987 ; Lemeignan, Weil-Barais, 1990 b ; Trumper, 1990). Des explications en termes de masses en mouvement semblent assez naturelles.

#### • *Énergies potentielles d'interaction*

Leur construction posera apparemment des problèmes bien plus redoutables.

... alors  
que d'autres  
nécessiteront  
une rupture  
profonde :  
c'est le cas  
des énergies  
potentielles  
et du principe  
de conservation

Dans certains cas les sujets interrogés nient qu'il puisse y avoir de l'énergie dans un objet immobile ou dans un combustible. Quelques exemples illustreront notre propos. Un homme qui pousse une charge au sommet d'une colline possède de l'énergie, mais la charge elle-même n'en possède pas... (Watts, 1983). Les sources d'énergie sont des substances nécessaires pour fabriquer de l'énergie... mais elles n'en possèdent pas elles-mêmes... (Giraudo, Viglietta, 1989). Bref, pour ces sujets, produire de l'énergie ne signifie pas posséder de l'énergie.

Dans d'autres cas, l'énergie est identifiée aux sources d'énergie. Le concept n'est pas différencié de l'objet. La disparition de la source est alors assimilée à une disparition d'énergie (Boyes, 1990).

#### • *Conservation de l'énergie*

Cette idée est contraire aux messages politiques ou publicitaires selon lesquels l'énergie n'est pas inépuisable... Sa dégradation est probablement plus naturelle. Selon plusieurs chercheurs, l'idée spontanée d'énergie recouvre plutôt ce que le physicien appelle "énergie utilisable" ou "exergie" (Solomon, 1982 ; Ogborn, 1986 ; Giraudo, Viglietta, 1989 ; Lijnse, 1990).

## **2. LA LOGIQUE DU FONCTIONNEMENT DE L'ÉLÈVE**

L'étude des conceptions devient véritablement intéressante lorsqu'on est capable de dégager leur logique d'ensemble et d'identifier ce qui fait véritablement obstacle à l'apprentis-

sage. C'est à ce prix qu'on pourra prévoir des actions didactiques conséquentes. Lors d'une première expérimentation menée dans trois classes de Première S en 1994-95, nous avons cherché à mieux caractériser le fonctionnement de l'élève en situation d'apprentissage scolaire, face aux situations que nous avons choisies.

### 2.1. Points de repères sur le déroulement et la méthodologie

Le fonctionnement de l'élève étant, selon une hypothèse largement admise, dépendant des situations qui lui sont proposées, il est nécessaire de donner quelques indications sur le déroulement.

l'idée de départ  
est celle  
de chaîne  
énergétique...

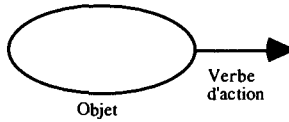
Le début de notre travail s'inspire fortement des propositions de Weil-Barais, Lemeignan (1990 b) et de l'idée de chaîne énergétique comme représentation symbolique des transformations et des transferts d'énergie qui s'opèrent entre systèmes en interaction. Lors d'une séance de TP les élèves, par groupes de deux ou trois, doivent résoudre un problème expérimental. Le but est de les faire réfléchir sur les moyens d'obtenir un effet à partir d'un matériel qui n'y conduit pas directement. Les montages sont choisis parmi les propositions de Agabra, De Meester, Lemeignan (1980). Nous aurons par la suite à revenir sur deux d'entre eux que nous présentons ci-dessous.

Consigne	Remarques
1. Allumer cette ampoule à l'aide de cette bouteille de gaz.	Parmi les montages possibles, on aura à réutiliser celui dans lequel on vaporise de l'eau par chauffage. La vapeur, dirigée vers une hélice, provoque la rotation d'une génératrice. Cette dernière alimente une ampoule ou une diode électro-luminescente selon la qualité des liaisons.
2. Allumer cette ampoule à l'aide de cet objet.	Un objet solide est présenté aux élèves. On attend d'eux un montage dans lequel l'objet entraîne dans sa chute le rotor d'un alternateur.

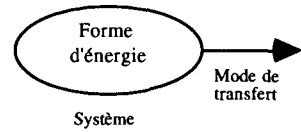
On prépare ainsi les idées de transformation, transfert, stockage, et débit. On impose une réflexion sur les relations entre les objets, ce qui prépare les analyses futures qui seront fondées sur les interactions entre les systèmes. On met l'accent sur les points communs qui apparaissent sous la diversité (différents points de départ peuvent conduire à un effet identique en fin de chaîne ; un même point de départ peut conduire à des effets différents). On justifie ainsi l'intérêt d'imaginer une entité unique, baptisée "éner-

gie" qui serait le dénominateur commun de la diversité des situations. L'évolution que l'on cherche à provoquer chez les élèves est donc la suivante.

... conduisant les élèves à une représentation pré-énergétique



Représentation initiale



Représentation finale

Cette phase donne lieu à des symbolisations et des formulations successives. Les documents produits par les élèves ont été récupérés et dépouillés dans la perspective d'identifier points d'appui et difficultés en relation avec les études rappelées dans le premier paragraphe.

## 2.2. Identification de quelques points d'appui

La représentation à laquelle les élèves aboutissent à l'issue de l'étape précédente n'est pas encore une représentation énergétique, loin s'en faut. L'analyse des données recueillies dans nos groupes expérimentaux est conforme aux études rappelées en 1.2. Cela conduit à penser qu'il est possible d'aider les élèves à construire assez rapidement une première représentation des quatre modes de transfert, de l'énergie cinétique macroscopique et, dans une moindre mesure, de l'énergie interne de température (lorsqu'elle caractérise un état visiblement plus chaud que l'environnement). Le tableau ci-dessous recense les termes employés par les élèves en regard desquels nous précisons le concept scientifique correspondant.

quelques connaissances intuitives peuvent servir de point d'appui...

<b>À propos des situations citées en référence dans le § 2.1.</b>	
<b>Concept scientifique sous-jacent</b>	<b>Terminologie utilisée par les élèves</b>
a) Énergie cinétique	<i>Rotation, énergie mécanique, mouvement.</i>
b) Énergie interne de température	<i>Température, chaleur, énergie thermique.</i>
c) Chaleur	<i>Chaleur, chauffage, combustion.</i>
d) Rayonnement	<i>Lumière, énergie lumineuse, éclairage.</i>
e) Travail électrique	<i>Courant, courant continu, courant alternatif, énergie électrique, tension, électricité.</i>
f) Travail mécanique	<i>Mouvement, force (parfois les deux en même temps).</i>

Examinons chaque ligne.

... énergie  
cinétique...

a) L'énergie cinétique est aisément considérée comme une cause produisant en aval un effet visible. Dans l'exemple du montage expérimental "objet → ampoule" de nombreux élèves donnent des formulations telles que la suivante : *"c'est parce que l'objet est en mouvement qu'il fait tourner l'alternateur, ce qui fait briller l'ampoule"*.

... énergie interne  
de température...

b) Les élèves ne semblent pas éprouver de difficulté pour attribuer de l'énergie aux objets plus chauds que le milieu ambiant. Ils la nomment souvent "chaleur" ou "énergie thermique". Outre la question du vocabulaire (on leur demande d'adopter le terme d'énergie interne de température), ils devront plus tard apprendre à généraliser le concept et, bien sûr, à le discriminer de la chaleur.

... chaleur...

c) Lorsqu'un transfert s'effectue sous forme de chaleur en s'accompagnant d'une élévation perceptible de la température d'un système, les élèves produisent aisément une interprétation utilisant le mot "chaleur". Ils ne sont pas encore au concept scientifique, mais cette aptitude à reconnaître un transfert sous forme de chaleur dans une situation particulière leur servira pour une élaboration plus générale qui sera explicitée dans le paragraphe 5.

... rayonnement...

d) La reconnaissance de la lumière par les élèves nous semble suffisante pour prétendre que les analyses mettant en jeu un rayonnement visible ne leur poseront pas de gros problèmes.

... travail...

e) Nous avons également constaté, dans les données que nous avons dépouillées, que chaque fois que l'analyse énergétique correcte se fait en terme de travail électrique (ou en terme de travail mécanique), les élèves utilisent une terminologie empruntée au champ de l'électricité (ou à celui de la mécanique). Ces deux concepts pourront, nous semble-t-il, s'élaborer assez aisément.

... font l'objet  
d'un premier  
et élémentaire  
niveau  
d'intégration

À ce stade, la construction de ces concepts est rudimentaire et très dépendante des situations choisies. Mais elle est à notre sens la seule base disponible. Nous pensons qu'elle est suffisante pour servir de point d'appui aux élaborations futures.

### 2.3. Repérage des difficultés

les énergies  
potentielle  
et interne  
devront  
se construire  
en rupture  
avec les idées  
premières

Que quelques idées spontanées aillent "dans le bon sens" est un point intéressant à relever. Mais se fonder exclusivement sur celles-ci, même en guidant les élèves par un questionnement approprié, ne peut en aucun cas conduire à des élaborations complexes. Les données que nous avons dépouillées nous incitent à affirmer l'impossibilité de construire par cette voie une première représentation, même frustrée, des énergies potentielles, de la chaleur (dans une assertion plus générale que celle dont il a été question dans le paragraphe précédent) et de toutes les énergies internes liées aux interactions dans la matière (énergies internes chimique et physique notamment). Évoquons plus particulière-

ment deux situations : bouteille de gaz → ampoule et objet → ampoule (voir tableau § 2.1). Il semble que de nombreux élèves s'attachent à la combustion (1er cas) ou au mouvement (2ème cas) en tant qu'action (le gaz brûle..., l'objet tombe...) sans chercher à concevoir ce qui, en amont, constitue l'état du système. Le système {combustible-comburant} possède de l'énergie indépendamment de toute combustion. Il en est de même pour le système {objet-Terre}, indépendamment de tout mouvement. Mais il faut bien admettre que les élèves n'ont aucune raison de se poser la question de l'état énergétique initial. Les explications causales qu'ils fournissent sont logiques et leur donnent entière satisfaction.

#### **2.4. Hypothèses quant au fonctionnement cognitif naturel des élèves**

- **Instauration d'un contrat didactique**

Les élèves sont en cours de sciences physiques, qui plus est en classe de Première S. Ils n'ignorent pas que la quasi-totalité de leur programme concerne l'énergie. Ainsi, ils savent que les situations qui leur sont soumises appellent une analyse en termes énergétiques (nous ne prétendons évidemment pas qu'il en serait ainsi des mêmes situations dans un autre contexte).

- **Prédominance d'une intuition sensible**

La lecture que les élèves font des situations physiques est guidée par leur intuition sensible ce qui entraîne trois conséquences.

- Ils ne perçoivent le bien-fondé d'une analyse énergétique que pour les phénomènes donnant lieu à des effets directement perceptibles. C'est ce qui nous amène à employer le terme "d'énergie en action" pour qualifier cet aspect des conceptions des élèves.

- Les concepts d'énergie potentielle macroscopique d'une part, d'énergie potentielle liée aux interactions dans la matière d'autre part, sont très peu mobilisés dans leurs analyses.

- Le principe de conservation ne constitue pas un outil opérationnel au service de leurs raisonnements.

- **Prédominance des explications linéaires causales**

Nous ne revenons pas sur ce point déjà envisagé dans le paragraphe 1.

#### **2.5. Plausibilité de nos hypothèses**

On peut ainsi comprendre la logique des étudiants post-baccalauréat dans les situations présentées au paragraphe 1.1. Même après un enseignement relativement poussé, ceux-ci ne reconnaissent pas certaines formes d'énergie (les énergies internes liées aux interactions dans la matière).

les difficultés des lycéens semblent pouvoir s'expliquer par un petit nombre d'hypothèses...



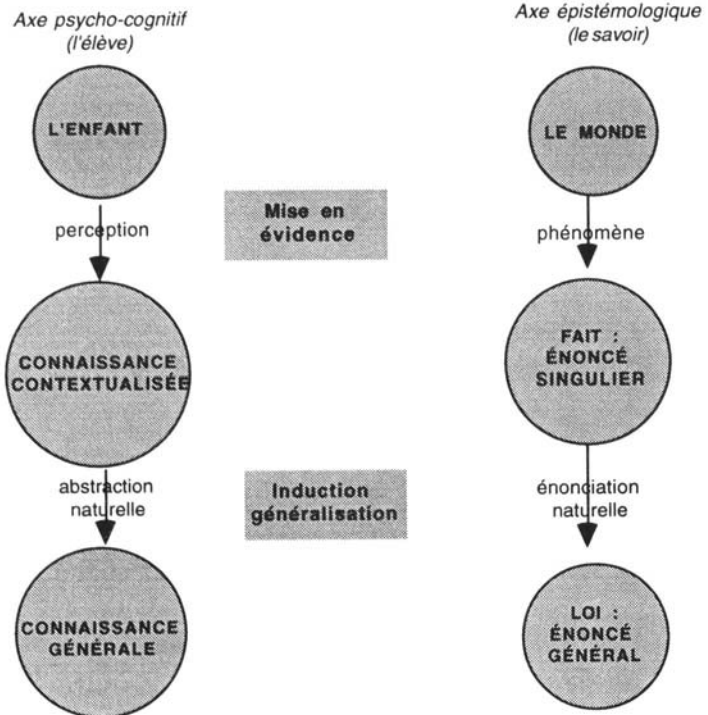
... parmi lesquelles la non-reconnaissance de certaines formes d'énergie...

Appliquer le principe aux seules formes reconnues (température dans nos exemples) conduit bien évidemment à des incohérences dont nous ne sommes pas en mesure de dire si elles sont ou non perçues par les étudiants. Toujours est-il qu'une majorité d'entre eux n'évoque jamais le principe de conservation. Peut-être poussés par la contrainte de fournir une explication, ils trouvent refuge dans l'application illicite de lois en dehors de leur domaine de validité (U ne dépend que de T... oui, mais pour un gaz parfait et non pour un morceau de plomb !).

... mais aussi la représentation que se font les enseignants de l'élaboration des connaissances

Dans un autre ordre d'idées, différentes recherches en France (Robardet, 1995) ou à l'étranger (Guilbert, Meloche, 1993 ; Désautels *et al.*, 1993) ont tenté de caractériser l'épistémologie implicite des enseignants débutants ou en exercice. Les résultats sont en grande partie convergents et permettent d'identifier une représentation majoritaire que G. Robardet qualifie de naturaliste. Selon celle-ci, la connaissance s'élaborerait naturellement en prenant appui sur la perception. Le rôle du professeur serait donc de mettre en évidence les éléments pertinents par une observation ou une expérience judicieuse. C'est ainsi que s'opèreraient chez l'élève induction et généralisation. Le schéma suivant (Robardet, 1995, p. 210) illustre cette représentation.

**LA REPRÉSENTATION NATURALISTE**  
**correspondance entre deux évolutions naturelles**



C'est sans doute cette représentation qui conduit certains manuels à introduire la notion d'énergie potentielle à partir de l'observation d'un barrage ou celle d'énergie chimique à partir de l'observation d'une plante verte !

## **2.6. Présentation et délimitation de notre travail**

Il s'est déroulé en milieu scolaire et nous n'avons aucune certitude qu'il puisse porter ses fruits en dehors de ce contexte. Autrement dit, même si notre ambition est de produire chez les élèves des apprentissages pouvant fonctionner hors de l'école, nous n'avons aucun moyen de nous en assurer.

De même, nous avons dû très rapidement demander aux élèves d'élaborer des bilans énergétiques. Nous pouvons espérer qu'une pratique régulière de ceux-ci, associée à la prise de conscience progressive de leur pertinence, peut amener les élèves à mener des raisonnements moins systématiquement fondés sur une causalité linéaire. Mais il s'agit là d'une hypothèse que notre travail ne permet pas de valider.

l'obstacle  
essentiel  
nous semble être  
l'intuition sensible

En revanche, nous avons cherché à mettre au point et à tester une stratégie didactique susceptible d'amener les élèves à des raisonnements moins guidés par leur intuition sensible qui, selon nous, constitue un obstacle aux acquisitions scientifiques.

L'objectif est d'aider l'élève à passer d'un fonctionnement cognitif naturel (au sens où nous venons de le discuter) à une pensée scientifique. Dans le cadre de notre investigation, nous retenons comme caractéristique de celle-ci, le contrôle permanent de la cohérence. Il s'agit tout aussi bien de cohérence interne (pas de contradiction logique dans les théories et les modèles manipulés) que de cohérence externe (correspondance avec le réel, dans le cadre d'un domaine de validité explicite).

## **3. PRINCIPES DIRECTEURS DE NOTRE DÉMARCHE D'ENSEIGNEMENT**

Depuis plusieurs années déjà, les travaux d'A. Weil-Barais et de G. Lemeignan sur l'apprentissage des concepts de mécanique ont mis l'accent sur la difficulté de leur construction. Ce sont (comme la plupart des concepts des sciences physiques) des concepts formels qui ne disposent pas d'une représentation concrète dans le monde réel. En outre, ils ne prennent leur sens qu'en relation avec d'autres concepts tout aussi formels. C'est pourquoi il paraît illusoire de vouloir organiser un apprentissage efficace autour de l'observation de phénomènes ou d'expériences permettant de "faire sentir" le concept, d'autant, comme on l'a vu, que certaines de ses composantes ne font pas partie de l'expérience sensible. Une autre voie doit être imaginée, que nous

présenterons dans le paragraphe 3.2., après avoir porté un rapide coup d'œil sur l'histoire des sciences qui nous a en partie inspirés.

### 3.1. Détour historique

l'histoire nous apprend que l'élaboration du concept d'énergie ne doit pas grand-chose à la perception sensible des savants...

C'est en cherchant à élaborer un édifice cohérent permettant de fournir un cadre théorique unique à des phénomènes issus de champs considérés jusqu'alors distincts que s'est constitué le principe de conservation de l'énergie. Mais simultanément et en interaction avec celui-ci, ont été développés des concepts jouant maintenant un rôle central. La notion d'énergie interne ne s'est jamais imposée antérieurement au principe de conservation. C'est parce qu'elle était nécessaire pour la cohérence de la théorie que Clausius et Thomson ont introduit cette grandeur. C'est également selon cette même logique que s'est constitué le concept d'énergie potentielle. Bien qu'il ait été pressenti par Helmholtz (Halbwachs, 1981), il semble s'être imposé comme une nécessité au moment où l'on cherchait à étendre le principe de conservation non plus au champ de la thermodynamique, mais à l'ensemble des phénomènes physiques, notamment ceux de la mécanique (Taton, 1961). Insistons sur ce point : des esprits brillants comme Descartes (formulation d'un principe d'équivalence entre travail moteur et travail résistant), Leibniz (force vive), Lagrange (élaboration du formalisme de la mécanique analytique) n'ont pas ressenti la nécessité du concept d'énergie potentielle, ce qui nous semble justifier notre affirmation selon laquelle les élèves de Première ne peuvent pas en avoir une idée intuitive et qui nous conduit à la seule alternative possible : ces concepts doivent être construits. Nous suivrons une piste analogue à la démarche historique : c'est en demandant aux élèves d'appliquer le principe de conservation dans un champ de plus en plus large, qu'ils parviendront dans les meilleures conditions à construire le concept d'énergie dans tous les aspects correspondant à la classe de Première.

... mais plutôt à leur volonté d'élaborer un édifice théorique cohérent...

### 3.2. Le rôle du principe de conservation

Le principe de conservation joue donc un rôle central dans la démarche que nous proposons. Il est énoncé sous la forme suivante que l'on ne cherche pas à préciser davantage pour l'instant.

*Dans un système (1) quelconque, l'énergie ne peut être ni créée ni détruite.*

- 
- (1) Le terme système a été précédemment défini comme un objet, un regroupement de plusieurs objets, ou encore comme une partie d'un objet. On se référera au rapport de recherche de G. Lemeignan et A. Weil-Barais (1990 b) pour comprendre précisément les raisons du passage des "objets" aux "systèmes". Toutefois, devant les difficultés rencontrées par les élèves à accepter la matérialité des systèmes (voir le § 6.2), nous avons fréquemment adopté des formulations moins rigoureuses en parlant de l'énergie attribuée à tel ou tel objet.

... organisé autour  
d'un principe  
de conservation

*Si un système perd ou gagne de l'énergie, elle est obligatoirement prise ou cédée à un autre.*

Son statut de principe est clairement affirmé : il s'agit d'une hypothèse, imaginée par les physiciens, qui n'est pas démontrable, mais qui constitue l'un des fondements de la discipline (2). Nier un principe, et notamment celui de la conservation de l'énergie, est impossible sans révolutionner toutes les sciences physiques.

La démarche que nous proposons et qui constitue l'originalité de notre travail consiste à examiner tout un ensemble de situations, éventuellement surprenantes ou énigmatiques, à la lumière du principe de conservation pour continuer à identifier et à préciser les différentes manifestations de l'énergie.

C'est la logique du principe de conservation qui conduit à de nouvelles conceptualisations. Le fil directeur est la cohérence théorique de l'édifice.

### **3.3. Cheminement intellectuel souhaité chez les élèves**

Au moment où le principe est énoncé, les élèves disposent donc de quelques points de repères intuitifs (qui ont fait l'objet de la discussion du paragraphe 2.2), mais seulement de ceux-ci.

les élèves  
vont s'appuyer  
sur leurs  
connaissances  
initiales...

Comme tout apprentissage, celui du concept d'énergie doit assumer une dialectique entre continuité et rupture. Continuité, parce que les connaissances initiales constituent le filtre à travers lequel les élèves décodent les situations qui leur sont proposées, les comprennent et s'y investissent. Rupture parce qu'à un certain moment, il faut bien changer de système de représentations. La démarche est classique. Il s'agit de s'appuyer sur la notion intuitive d'énergie disponible chez les élèves pour la transformer. Mais c'est à l'élève lui-même de contrôler sa connaissance, c'est-à-dire d'apprécier si elle est suffisante ou si elle doit évoluer. Le plus souvent, la procédure de contrôle dont il dispose est une confrontation à une ou plusieurs expériences qui ont valeur de test. Mais à l'inverse de nombreux domaines des sciences physiques, celui que nous abordons

... pour construire  
un sens  
plus élaboré...

---

(2) On explique souvent aux élèves qu'un principe est une affirmation qui, sans jamais avoir été démontrée, n'a jamais été mise en défaut. Cette explication est, de notre point de vue, insuffisante car trop faible. Un principe n'a pas vocation à être mis à l'épreuve. Si une contradiction apparente se présente, l'activité scientifique s'oriente vers la recherche de ce qui permettra de "sauver le principe". Cette démarche est typique en physique des particules. Lorsque l'analyse d'un cliché semble mettre en défaut l'un des principes fondateurs du domaine, les scientifiques imaginent l'existence d'une nouvelle particule à laquelle ils attribuent toutes les caractéristiques *ad hoc* de façon à assurer l'ensemble des principes de conservation. L'histoire montre que l'abandon d'un principe constitue une véritable révolution scientifique, au sens donné par Kuhn (1970).

... non en  
faisant appel  
à leur intuition  
sensible, mais  
en réfléchissant  
à la cohérence  
de leurs  
interprétations

ne se prête pas à validation expérimentale. Il nous faut donc compter sur une autre procédure de contrôle de la pensée : la cohérence théorique. Nous fournissons donc aux élèves le principe de conservation, faute de quoi nous ne voyons pas comment leurs connaissances initiales pourraient évoluer. Nous leur demandons ensuite d'appliquer l'ensemble avec rigueur et d'en contrôler en permanence la cohérence.

Le cheminement intellectuel souhaité chez les élèves est donc le suivant :

*"Telle manifestation de l'énergie n'est pas intuitive, elle est toutefois nécessaire pour ne pas contredire le principe de conservation."*

Ce choix didactique s'oppose à ceux qui visent à "faire sentir" toutes les formes d'énergie aux élèves, puis à les utiliser quantitativement à l'aide du principe de conservation. Par exemple, on "fait sentir" énergie cinétique et énergie potentielle de pesanteur, puis on applique le principe de conservation pour déduire la relation classique de la chute des corps. Ou encore, après avoir "fait sentir" l'idée d'énergie chimique, on apprend à mesurer une chaleur de réaction. En prenant ainsi appui sur des idées peu disponibles chez les élèves, on ne provoque pas d'acquisitions durables.

La démarche que nous avons imaginée ayant été détaillée, il nous faut préciser la manière dont sont organisées les activités proposées. Ce point est tout aussi important et conditionne également la réussite d'un apprentissage.

### 3.4. Organisation des activités

Chaque séance se déroule selon la même chronologie.

cela suppose  
une organisation  
de la classe  
laissant  
aux élèves  
le temps  
de mettre  
en œuvre  
leur propre  
logique  
et de débattre  
entre eux

- Phase 1 : recherche par groupes de 3 ou 4. Quelques situations sont proposées. Chaque groupe réfléchit à leur traduction énergétique, et explique par écrit comment s'applique le principe de conservation. Les tâtonnements et les erreurs, inévitables pendant cette phase, ne sont pas une perte de temps, mais l'assurance que les élèves sont véritablement "entrés" dans les difficultés. S'ils résolvent seuls la situation, cela contribue à les conforter dans leur autonomie et constitue pour eux un progrès notable. Leurs connaissances et leur manière de raisonner sont ainsi consolidées. S'ils échouent, les explications ultérieures interviendront en réponse à leurs difficultés. Ils seront donc réceptifs tant aux arguments de leurs pairs qu'à la synthèse du professeur.

- Phase 2 : mise en commun et débat.

- Phase 3 : synthèse du professeur. Elle est l'occasion d'un apport théorique, mais aussi d'une aide aux élèves pour ordonner leur pensée et mettre en cohérence l'ensemble complexe des informations qu'ils reçoivent.

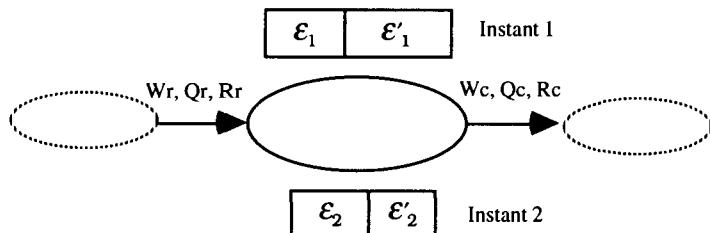
### 3.5. Sur le rôle de la symbolisation

La maîtrise des concepts passe par celle des raisonnements qui les rendent efficaces. C'est pourquoi nous imposons une symbolisation rigoureuse dont le but est d'aider à rendre le principe de conservation opérationnel. Son caractère contraignant interdit de "noyer le poisson" dans des formules sibyllines trop souvent employées à mauvais escient dans les manuels de 1988 (Rolando, 1993) telles que "transformation de travail en chaleur (3)" ou encore "chaleur dégagée par une réaction chimique élevant la température du calorimètre et de son contenu (4)".

une symbolisation rigoureuse aide à rendre le principe opérationnel

- Les systèmes sont représentés par des "bulles" en traits pleins pour celui qui est étudié, en pointillés pour ceux qui sont en interaction avec lui.
- Les transferts ( $Q$  pour chaleur,  $W$  pour travail,  $R$  pour rayonnement) sont représentés par des flèches indiquant leur sens. Les indices sont "r" pour "reçu" et "c" pour "cédé".
- Les formes d'énergie sont représentées par des rectangles (en pratique on ne représente que celles qui varient) qui obéissent aux règles suivantes : ils sont positionnés en haut pour l'instant 1, en bas pour l'instant 2 ; leur surface varie dans le même sens que la valeur de l'énergie qu'elle représente.

#### Exemple :



L'application du principe de conservation s'écrit (5)  
 $(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}'_1) + (W_r + Q_r + R_r) = (\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}'_2) + (W_c + Q_c + R_c)$

- (3) Des formulations comme celle-ci doivent bien sûr être examinées à la lumière des systèmes choisis. Ceux-ci sont le plus souvent mal définis, mais, dans de nombreux cas, l'analyse serait plus convaincante en terme de travail reçu par un système et d'augmentation de son énergie interne. Une augmentation de la température d'un corps est trop souvent interprétée en utilisant (parfois à tort) le terme de chaleur.
- (4) Si l'on veut faire admettre aux élèves que la chaleur est un mode de transfert de l'énergie, il faut proscrire l'usage de ce terme lorsqu'un seul système est en jeu (cas du calorimètre isolé).
- (5) Nous donnons aux élèves une formulation arithmétique de la conservation : "énergie initiale + transferts reçus = énergie finale + transferts cédés".

Muni du principe de conservation et des outils qui permettent de l'appliquer, habitué peu à peu à la démarche, l'élève est censé progresser ainsi dans l'élaboration du concept d'énergie.

### 3.6. Rôle du professeur

#### • Pendant la phase 1

Il est de faire respecter les consignes et d'inciter à utiliser les outils disponibles qui s'élaborent progressivement au fil des différentes situations. Les professeurs ayant expérimenté notre protocole disposaient de l'aide-mémoire suivant destiné à les aider dans le choix de leurs interventions, de manière à aider les élèves sans leur fournir la solution.

- *Le système est-il bien défini ? Est-ce bien toujours le même aux différents instants de l'analyse ?*
- *Les instants entre lesquels s'effectue le bilan sont-ils bien précisés ?*
- *Pour chaque système étudié a-t-on bien indiqué toutes les formes d'énergie possédées et leur sens de variation ? A-t-on donné les raisons qui permettent de prévoir le sens de la variation ? A-t-on été attentif à employer le bon vocabulaire ?*
- *Pour chaque système étudié, a-t-on précisé les transferts (cédés ou reçus) avec d'autres systèmes ? A-t-on été attentif à employer le bon vocabulaire ?*
- *N'a-t-on rien oublié dans l'écriture du principe de conservation ?*

le professeur  
doit guider  
sans fournir  
la solution...

#### • Pendant la phase 2

Le professeur met en évidence les différents raisonnements en s'efforçant à chaque fois de recentrer le problème : *"Comment peut-on expliquer cette situation en appliquant le principe de conservation ? Telle proposition de tel groupe le respecte-t-elle ? Pourquoi ?"* Il ne donne encore aucune indication sur le raisonnement qui devra être assimilé.

Il est indispensable, durant ces deux phases, que le professeur sache s'effacer en privilégiant le débat entre élèves devant ses propres interventions.

#### • Pendant la phase 3

Le professeur retrouve son rôle traditionnel. Mais il ne faut pas perdre de vue que sans les moments préalables de recherche et de débat, le discours de l'enseignant reste trop souvent sans écho et la connaissance qui en résulte est locale, ponctuelle et (hélas) volatile.

... et savoir  
s'effacer  
en privilégiant  
le débat  
entre élèves

## 4. DU PRINCIPE DE CONSERVATION AUX CONCEPTS D'ÉNERGIE INTERNE CHIMIQUE ET D'ÉNERGIE POTENTIELLE

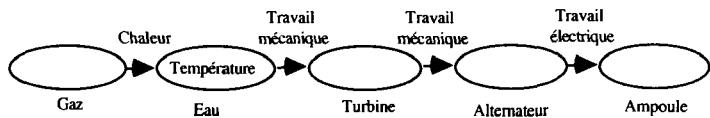
### 4.1. Situations utilisées et raisonnements attendus

#### • *Énergie interne chimique*

Elle est introduite à partir de la situation énigmatique suivante, que nous présentons telle qu'elle est donnée aux élèves.

*“Lors de la première séance, on a réussi à allumer une ampoule à l'aide d'un auto-cuiseur chauffé à partir d'une bouteille de gaz. Interpréter cette situation à l'aide du principe de conservation de l'énergie.”*

À ce stade, les élèves disposent du principe de conservation et de la méthode des bilans énergétiques qui leur a été présentée en même temps que ce dernier. Ils sont parvenus à une schématisation telle que la suivante (voir fin du § 2.1).



L'objectif est de les amener à mettre en œuvre un raisonnement dans lequel ils comprennent :

comment rendre  
nécessaire  
le concept  
d'énergie  
chimique ?...

- qu'une forme d'énergie doit nécessairement être affectée en début de chaîne (faute de quoi le principe ne serait pas respecté) ;
- que celle-ci est localisée dans le gaz (6) ;
- qu'elle est de nature chimique ;
- que cette énergie chimique doit être attribuée au gaz même s'il n'est pas en train de brûler (car sinon le principe serait en défaut).

#### • *Énergie potentielle de pesanteur*

Elle s'élabore à l'issue de l'analyse d'une chute. Entre autres exemples, nous avons utilisé la situation "objet qui tombe → ampoule".

*“Lors de la première séance, on a réussi à allumer une ampoule à l'aide d'un objet. Interpréter cette situation à l'aide du principe de conservation de l'énergie.”*

... ou celui  
d'énergie  
potentielle ?

De même que dans le cas de l'énergie chimique, les élèves doivent aboutir au concept d'énergie potentielle de pesanteur, à partir d'arguments fondés sur la non-contradiction du principe de conservation de l'énergie :

---

(6) Le professeur attend la synthèse pour préciser que c'est le système {gaz-oxygène} qui doit être considéré.



- une forme d'énergie doit être affectée à l'objet ;
- elle dépend de son altitude ;
- elle doit lui être attribuée même s'il est immobile.

#### 4.2. Le cœur du débat

ils deviennent  
nécessaires  
lorsque les élèves  
perçoivent  
que sans eux  
la cohérence  
de l'édifice  
ne peut pas être  
assurée

Nous avons déjà signalé (voir paragraphe 2.3) que les élèves, au début de ce travail, fixent spontanément leur attention sur l'action qui se déroule devant leurs yeux (le gaz brûle, donc il chauffe l'eau de l'auto-cuiseur ; l'objet, dans sa chute, déroule la ficelle) sans se poser la question de l'état énergétique initial du système. C'est la traduction énergétique de ces situations, associée à une contrainte forte et non-discutable (respecter le principe de conservation) qui conduit en fin de compte à attribuer de l'énergie au gaz avant qu'il s'enflamme et à l'objet avant qu'il tombe.

#### 4.3. L'enjeu de l'activité

Au moment de la synthèse, le professeur tranche éventuellement les débats et fixe le vocabulaire. Mais son rôle essentiel est d'aider à cette conceptualisation. Le gaz, tout comme l'objet, ne possède rien au sens réaliste du terme "posséder". Mais la cohérence du système théorique impose de leur attribuer cette "entité abstraite" qu'on appelle "énergie". Celle-ci est bien une production intellectuelle et non une donnée sensible.

l'objectif  
est de permettre  
le passage  
d'une pensée  
intuitive  
à une pensée  
auto-contrôlée  
par le souci  
de la cohérence

Au-delà du concept d'énergie, cette démarche nous paraît essentielle dans l'apprentissage des sciences physiques. À la suite de Bachelard (1949), nous visons à ce que les élèves passent progressivement d'une pensée guidée par l'intuition réaliste, à un raisonnement auto-contrôlé par le souci de la cohérence. C'est sans doute un obstacle majeur, mais qui représente bien l'objectif essentiel de notre travail. On peut, par cette voie, espérer qu'ils vont parvenir à construire des concepts de manière à ce qu'ils deviennent de véritables outils et non seulement de simples objets d'enseignement. C'est à terme l'autonomie intellectuelle des élèves qui est visée, et leur aptitude à apprécier eux-mêmes la cohérence des raisonnements qu'ils mènent.

Cette démarche que nous venons d'illustrer à propos de l'énergie potentielle et de l'énergie chimique est donc appliquée systématiquement. Nous allons préciser, dans le paragraphe suivant, comment nous la mettons en œuvre en vue de construire le concept de chaleur (au niveau d'élaboration correspondant à la classe de Première S).

## 5. DU PRINCIPE DE CONSERVATION AU CONCEPT DE CHALEUR

Avant même de venir en classe de physique, les élèves ont une idée de ce qu'est la chaleur. Celle-ci est très fruste et fortement attachée à la notion de température. Elle comporte des aspects corrects (*"lorsqu'un corps chaud est au voisinage immédiat d'un corps plus froid, il lui cède de la chaleur"*), mais également des associations erronées (*"si la température d'un système augmente, c'est qu'il a reçu de la chaleur"* ; *"si un système reçoit de la chaleur, sa température augmente nécessairement"*). Nous pensons possible de nous appuyer sur ces idées pour les faire évoluer. Durant les premières séances, nous avons demandé aux élèves de s'astreindre à une rigueur de vocabulaire en désignant par des termes spécifiques la grandeur énergétique associée à la température d'un système (appelée "énergie interne de température") et la grandeur représentant le transfert (appelée "chaleur"). À partir de là, c'est encore une fois en analysant à la lumière du principe de conservation quelques situations judicieusement choisies que va s'opérer cette évolution.

le concept de chaleur peut s'élaborer en suivant la logique du principe de conservation...

### 5.1. Chaleur, température et énergie chimique

Diverses situations peuvent être exploitées. Nous avons travaillé sur les deux suivantes.

- *"Dans un calorimètre, on verse une solution de sulfate de cuivre (II) et de la poudre de zinc. Le calorimètre est fermé immédiatement. On constate une élévation de température. Utiliser le principe de conservation de l'énergie pour interpréter cette constatation."*
- *"La même expérience est réalisée dans un récipient non isolé et ouvert. La poudre de zinc est introduite par petites quantités successives en agitant régulièrement. Lorsque tout est terminé, on ne constate pas de variation de température notable."*

... par différenciation avec l'énergie interne chimique...

La première expérience dérange l'intuition des élèves (même s'ils ont déjà rencontré des réactions exothermiques). En effet ils ne parviennent pas immédiatement à concilier le principe de conservation de l'énergie avec l'effet thermique. Si la température augmente, c'est que l'énergie interne de température augmente. Or le calorimètre ne permet pas de transfert avec l'extérieur, donc le principe de conservation de l'énergie paraît en défaut... (!) C'est cette contradiction apparente qu'ils doivent dépasser en admettant qu'une autre forme d'énergie du système (calorimètre, milieu réactionnel) a diminué. Cette interprétation, si elle est correctement construite par les élèves, représente un progrès significatif : une variation de température n'est pas expliquée en faisant référence à la chaleur.

Dans la deuxième expérience, l'énergie interne de température n'a pas varié, mais l'énergie interne chimique a dimi-

nué, puisque la réaction s'est effectuée. Cette diminution de l'énergie interne totale s'interprète par un transfert vers l'extérieur.

## 5.2. Transferts d'énergie à l'environnement

Voici deux situations sur lesquelles les élèves ont travaillé : l'arrêt d'une automobile sous l'action du freinage ; l'arrêt d'un ballon sous l'action du contact avec le sol et l'air.

Dans le premier cas, une élévation de température notable a lieu au niveau des freins. Ceux-ci se trouvent alors à une température supérieure à celle de l'environnement. Lorsque le bilan est réalisé entre des instants très rapprochés, on est dans un cas similaire à celui qui a été détaillé dans le paragraphe précédent : la variation de température d'un système s'interprète sans référence à la chaleur. Si les instants sont suffisamment éloignés, la situation s'interprète par transfert de chaleur à l'environnement.

... par  
différenciation  
avec  
la température...

Envisageons maintenant la seconde situation dans laquelle il est question d'un ballon qui roule sur un sol horizontal et qui finira bien par s'arrêter. Comment savons-nous qu'il transfère de l'énergie à l'environnement (ce que jamais personne n'a d'ailleurs mesuré...) ? Qu'est-ce qui nous prouve que l'énergie interne de l'air et du sol augmente ? Une fois de plus c'est le principe de conservation qui nous guide... S'il n'en était pas ainsi il faudrait reconstruire la physique... Les transferts s'effectuent ici sans variation de température perceptible. Là encore, on peut affirmer qu'une analyse correcte est l'indicateur d'un progrès dans l'élaboration des concepts de température et de chaleur.

## 5.3. Chaleur, température et changement d'état physique

Les objectifs visés dans ce dernier volet sont du même ordre que dans les paragraphes précédents en ce qui concerne les relations et les différences entre chaleur et température. Ce faisant, c'est aussi l'occasion d'introduire une forme d'énergie nouvelle (énergie interne physique) par le même processus : la logique du principe de conservation. La situation classique d'ébullition se prête tout à fait bien à cette analyse à condition qu'elle soit présentée comme une énigme à résoudre : *"Comment expliquer par le principe de conservation que la température de l'eau n'augmente pas alors qu'elle reçoit en permanence de la chaleur ?"*

Nous avons également exploité une autre situation que nous proposons ci-dessous, *"la soupe de Toto"* :

*"Pour refroidir son assiette de soupe trop chaude, Toto met un peu de beurre. Son frère, dont l'assiette contient la même quantité de soupe à la même température, préfère mettre un peu de lait. Au bout de quelques instants, la soupe de Toto a bien refroidi alors que celle de son frère est encore trop*

... par  
différenciation  
avec l'énergie  
interne physique

*chaude. Pourtant, le beurre et le lait étaient à la même température et ont été utilisés en même quantité. Interpréter cette situation...*"

Nous avons tenu, par cette formulation volontairement imprécise concernant la "quantité" de beurre et de lait, à éviter des explications liées à des "quantités" différentes de beurre et de lait : Toto aurait pu mettre beaucoup de beurre alors que son frère n'aurait ajouté que quelques gouttes de lait... À ce moment de la démarche, les élèves ne disposent pas du concept de capacité thermique massique. Cette formulation nous semble donc adaptée à nos objectifs : contraindre les élèves à s'engager dans une réflexion sur l'influence du changement d'état.

## 6. ÉLÉMENTS D'ÉVALUATION

### 6.1. Méthodologie

Après une pré-expérimentation menée en 1994-95, le protocole a été réajusté et testé en 1995-96 dans trois nouvelles classes de Première S.

Toutes les données ont été recueillies pendant les séances, donc en cours d'apprentissage. Elles sont de deux types.

- ***Des traces écrites récupérées immédiatement après le moment de recherche***

Ce sont donc des productions de groupes. Dans la mesure où le professeur pouvait intervenir pendant cette phase, il n'est pas sûr qu'elles soient intégralement l'émanation des seuls élèves.

- ***Des discussions entre élèves, enregistrées lors des phases 1 et 2***

Elles permettent de repérer les interventions du professeur, et constituent donc un outil intéressant pour suivre le cheminement intellectuel des lycéens. Nous avons suivi ainsi 6 groupes de 3 élèves pendant l'ensemble des séances. Tous les enregistrements ont été transcrits. La lecture a été menée sans recourir aux techniques d'analyse de contenu.

Ainsi, les éléments d'évaluation présentés ci-dessous doivent être envisagés avec la prudence qui convient. Nous les considérons comme des résultats provisoires dont la vocation est de fournir des hypothèses pour d'autres études plus fines.

Le dépouillement que nous avons effectué a été guidé par le souci d'évaluer les aspects suivants.

- Les élèves se satisfont-ils d'une explication en termes d'énergie en action ou cherchent-ils à contrôler leurs énoncés par le principe de conservation ?

l'expérimentation  
menée  
est source  
d'hypothèses  
pour  
une recherche  
plus approfondie

- Dans quelle mesure parviennent-ils à élaborer le concept visé par la situation qui leur est proposée ?

## 6.2. Présentation de nos résultats

- **Prédominance des raisonnements faisant intervenir l'énergie en action**

Cet aspect est particulièrement net au cours des activités visant à construire les énergies potentielles de pesanteur et chimique (cf. § 4).

Commençons par noter que quelques rares groupes sont proches de la conceptualisation. Nous considérons qu'il en est ainsi lorsque l'explication fournie fait explicitement référence à un système (le combustible, l'objet immobile) et non à une action qui se déroule (combustion, mouvement). Exemple :

*"Il y a, au départ, de l'énergie due au combustible."*

Le même groupe écrit, à propos de la deuxième situation :

*"Puisque l'énergie ne se crée pas spontanément, donc, au départ, lorsque l'on tient la masse, elle possède une énergie due à son poids."*

Mais la plus grande partie se satisfait d'un raisonnement en termes d'action. Exemples :

*"Dans ce système, l'énergie est tirée de la combustion du gaz."*

*"L'énergie provient de la chaleur produite par la flamme du gaz."*

Ou encore :

*"Cette énergie est due au mouvement pendant la chute."*

*"Lorsqu'on lâche la masse, sa chute se transforme en énergie cinétique. Le phénomène qui permet la chute de la masse est l'attraction terrestre".*

En revanche, les séances observées montrent qu'il est possible d'amener une classe à débattre des questions centrales une fois que le professeur les a fait émerger : doit-on attribuer de l'énergie au gaz avant qu'il s'enflamme ? Doit-on attribuer de l'énergie à l'objet lorsqu'il est immobile ? Cela conduit à des échanges souvent passionnés entre les élèves reconnaissant qu'il est nécessaire, pour la cohérence du principe, de répondre par l'affirmative à ces questions, et ceux qui ne parviennent pas à dépasser le stade de l'intuition sensible : "puisque'il ne se passe rien, il ne peut pas y avoir d'énergie". Nous reproduisons en annexe I certains passages significatifs des débats qui se sont déroulés dans une classe sur cette difficile question.

- **Difficultés observées lors de l'application du principe de conservation**

Assez rapidement les élèves comprennent la logique qui leur est demandée : puisque l'énergie ne peut pas être créée, il faut qu'elle vienne de quelque part.

Indépendamment du caractère potentiel de certaines formes d'énergie, nous avons repéré deux autres difficultés.

- La notion de système reste longtemps très floue malgré les contraintes imposées (symbolisation des "réservoirs" d'énergie) et les synthèses successives du professeur. La matérialité du système a du mal à s'imposer. Lorsque le professeur intervient pour demander de préciser où est localisée l'énergie, les élèves répondent volontiers "*dans la combustion*", "*dans le mouvement*" ou encore "*dans la gravité*", "*dans la force musculaire*"... Peut-être est-ce une facette différente de la difficulté précédente : refusant d'affecter de l'énergie à un système qui n'évolue pas, ils le font à ce qu'ils identifient comme étant la cause du changement. Peut-être aussi s'agit-il d'un effet de contrat : il faut fournir une explication...

- Certains élèves semblent considérer la question de l'état énergétique initial comme stérile car pouvant se poser "en cascade" autant de fois qu'on le veut. Lorsqu'ils tentent une réponse, il est fréquent que le professeur leur renvoie la même question "*oui, mais d'où vient l'énergie dont tu parles ?*" Ainsi, certains élèves (une minorité toutefois) semblent prisonniers d'un jeu qui, selon eux, ne se termine pas, un peu à la manière des "poupées gigognes". Le passage suivant, tiré d'une discussion entre deux élèves est révélateur.

E1 — *L'énergie est toujours tirée de quelque part, alors l'énergie de la combustion est tirée d'où ?*

E2 — *On sait pas... c'est pas notre boulot !*

Une dizaine de minutes plus tard, après la synthèse du professeur sur cette question, les mêmes élèves continuent la discussion.

E1 — *Le gaz, quand il brûle pas, il a de l'énergie ? Mais il la tire d'où ?*

E2 — *On sait pas encore, on verra...*

Si la première réplique de l'élève E1 laisse penser qu'il a perçu le problème, on s'aperçoit un peu plus tard qu'il ne s'est pas rendu compte qu'il avait été résolu ! Quant aux interventions de l'élève E2, elles laissent transparaître une certaine philosophie, voire sans doute un soupçon de démission.

#### • **Vers une construction plus solide des concepts ?**

Chaque concept abordé a donné lieu à plusieurs séances de travail, au cours desquelles les élèves, sans qu'ils en soient informés, devaient opérer un réinvestissement de leurs acquis dans des situations aussi différentes que possible. La consigne est toujours la même (interpréter une situation à l'aide du principe de conservation) et la méthode de travail également (recherche, débat, synthèse).

- S'agissant par exemple du concept d'énergie chimique, la situation suivante a été proposée.

elle révèle  
à la fois  
des difficultés...

*“Un enfant, initialement immobile sur une balançoire, peut réussir à s'élaner sans toucher le sol. Il se met ainsi en mouvement.”*

L'annexe II présente quelques productions significatives. Tout n'est bien sûr pas idyllique...

Certains groupes (production 1 et début de la production 3) cherchent à expliquer le mécanisme de la mise en mouvement au lieu d'entreprendre une analyse énergétique.

La majorité des groupes parvient toutefois à une explication, même si elle est souvent mal formulée. Il faudrait par exemple savoir ce que représente l'énergie musculaire (production 3) ou encore connaître la forme de l'énergie “contenue dans le corps” (production 2). Mais enfin, le niveau de conceptualisation nous semble encourageant à ce stade de l'apprentissage.

À côté de cela, certaines productions (4 et surtout 5) sont d'excellente tenue.

- La situation concernant “la soupe de Toto” est sans doute la plus complexe que les élèves ont eu à traiter. Deux explications apparaissent dans les productions.

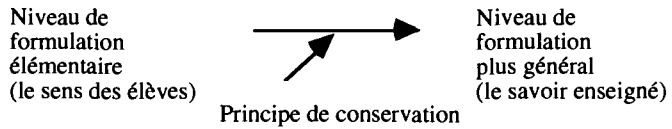
La première (exemple 1 de l'annexe III) fait référence à “une durée”, et ne conduit évidemment pas à la conceptualisation recherchée : la fusion du beurre n'étant pas instantanée, Toto est contraint d'attendre plus longtemps avant de goûter sa soupe, et ainsi elle a pu se refroidir davantage que celle de son frère...

Par contre, plusieurs groupes parviennent à une bonne compréhension du phénomène, et transfèrent avec plus ou moins de maîtrise les explications fournies par le professeur lors de la synthèse sur l'énergie chimique. La production 2 est très maladroite. Elle révèle des confusions (“*énergie potentielle d'interaction liée à la température*”) et nécessiterait une reformulation importante. La parenthèse (“*la structure du beurre est modifiée*”) est peut-être l'indice d'un début de construction du concept d'énergie interne physique. Les productions 3 et 4 souffrent de quelques imperfections (emploi inadéquat du mot “*chaleur*” dans le cas 3, sens de la variation dans le cas 4), mais l'idée essentielle est bien là. La production 5 est excellente.

... et des résultats encourageants

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La démarche que nous avons poursuivie n'est pas nouvelle. En s'appuyant sur leurs conceptions, les élèves s'engagent dans un processus de construction et parviennent dans une certaine mesure, à construire un sens plus élaboré. Cette évolution, bien sûr, n'est pas spontanée. Elle est possible grâce au principe de conservation qui est imposé arbitrairement. Les élèves l'utilisent pour examiner la cohérence de leurs analyses spontanées, ce qui les conduit à de nouvelles conceptualisations.

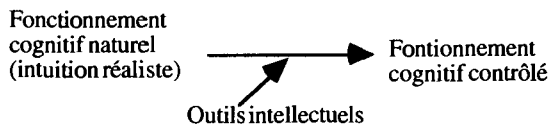


Cette approche nous a permis d'observer quelques progrès significatifs notamment dans la conceptualisation des grandeurs thermodynamiques élémentaires (énergie interne, chaleur, température). En ce sens elle contribue d'une part à élargir l'espace de choix des professeurs chargés de cet enseignement, et d'autre part à alimenter le débat sur la gestion des activités scolaires propices au dépassement des conceptions.

Les difficultés que nous avons pu observer ne sont pas étonnantes. D'une part les évaluations effectuées ont eu lieu, comme nous l'avons signalé, en cours d'apprentissage et non à la fin de celui-ci. D'autre part, la démarche demandée aux élèves est inhabituelle. Elle sollicite un engagement intellectuel important dans un processus de clarification essentiellement théorique. Elle impose donc une rupture avec la manière traditionnelle de se comporter pendant les cours de sciences physiques, qui s'apparente à ce que Gil-Perez (1993) qualifie de changement méthodologique.

Mais au-delà du sujet traité, il nous semble que les difficultés que nous avons rencontrées ne sont qu'une manifestation d'un problème plus général : celui de la formation d'une pensée scientifique. La résistance essentielle que nous avons rencontrée dans le cas de notre travail est ce que nous avons appelé l'intuition réaliste. Elle constitue selon nous un véritable obstacle au sens épistémologique du terme. S'en affranchir suppose (condition nécessaire mais sans doute pas suffisante) de donner aux élèves les outils intellectuels leur permettant un contrôle cognitif permanent sur leur pensée.

l'intuition réaliste constitue un obstacle épistémologique



la même démarche ouvre d'autres perspectives dans le domaine quantitatif

D'autres perspectives sont à envisager. La même démarche doit aussi pouvoir s'appliquer lorsqu'il s'agit de construire les relations exprimant une forme ou un transfert à partir des grandeurs physiques pertinentes (exemple :  $W_e = UIt$ ,  $E_k = 1/2mv^2$ , etc.) Dans la logique des propositions que nous faisons, les situations didactiques sont organisées autour d'un problème d'ordre quantitatif : quelle forme mathématique faut-il donner à telle expression pour qu'elle soit en conformité avec le principe de conservation de l'énergie ? Cette piste a été fournie aux professeurs ayant coopéré à notre recherche, mais elle reste à être observée et analysée.



Plus généralement, tous les sujets dont la "clé de voûte" est un principe de conservation pourraient être abordés selon la même démarche. Nous pensons en particulier à la conservation de l'élément et à celle de la masse lors d'une réaction chimique, qui donnent souvent lieu à des introductions expérimentales douteuses. Ne serait-il pas plus satisfaisant tant du point de vue épistémologique que didactique, de postuler la conservation puis d'examiner ses conséquences ?

Pascal BALLINI,  
Rectorat et MAFPEN Grenoble.  
Guy ROBARDET,  
IUFM et MAFPEN Grenoble.  
Jean-Michel ROLANDO,  
IUFM et MAFPEN Grenoble.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGABRA, DE MEESTER, LEMEIGNAN, (1980), "Documents et activités de l'élève : l'énergie" & "Compléments d'information : l'énergie", in *Sciences physiques, livre du professeur*, Hachette, Coll. Libre Parcours.
- BACHELARD, G., (1938), *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin.
- BACHELARD, G., (1949), *Le rationalisme appliqué*, Paris, P.U.F.
- BLISS, J., (1985), "Children's choices of uses of energy", in *European Journal of Science Education*, Vol. 7, n° 2, pp. 195,203.
- BOYES, E., (1990), "Pupils' ideas concerning energy sources", in *International Journal of Science Education*, Vol. 12, n° 5, pp. 513-529.
- BROOK, A., (1986), "Children's understanding of ideas about energy : a review of the literature", in *Energy matters : Proceedings of a Conference on the teaching of energy*, R. Driver, R. Millar, Eds, Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, pp. 33-45.
- BROOK, A., (1987), "Designing experiences to take account of the development of children's ideas : an example from the teaching and learning of energy", in *Proceeding of the second international seminar : misconceptions and educational strategies in science and mathematics*, J.D. Novak, Eds, Cornell University, Ithaca, N.Y., USA, Vol. 2, pp. 48-64.
- CACHAPUZ, A.F., MARTINS, I.P., (1987), "High school students' ideas about energy of chemical reactions", in *Proceeding of the second international seminar : misconceptions and educational strategies in science and mathematics*, J.D. Novak, Eds, Cornell University, Ithaca, N.Y., USA, Vol. 3, pp. 60-68.

CLOSSET, J.-L., (1983), *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*, Thèse, Paris 7.

DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B., RUEL, F., (1993), “La formation à l’enseignement des sciences : le virage épistémologique”, in *Didaskalia*, n° 1.

DRIVER, R., WARRINGTON, L., (1985), “Students’ use of the principle of energy conservation in problem situations”, in *Physics Education*, Vol.20, pp. 171-175.

GIL-PEREZ, D., (1993), “Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique”, in *Aster* n° 17, *Modèles pédagogiques* 2.

GIRAUDO, I., VIGLIETTA, L., (1989), “Idee degli allievi su conservazione e dissipazione dell’energia”, in *La Fisica nella Scuola*, Vol. 22, n° 2, pp. 95-102.

GUESNE, E., TIBERGHEN, A., DELACÔTE, G., (1978), “Méthodes et résultats concernant l’analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique. Deux exemples : les notions de chaleur et lumière”, in *Revue Française de Pédagogie*, n° 45.

GUILBERT, L., MELOCHE, D., (1993), “L’idée de science chez les enseignants en formation : un lien entre l’histoire des sciences et l’hétérogénéité des visions ?”, in *Didaskalia*, n° 2, pp. 7-30.

HALBWACHS, F., (1971), “Causalité linéaire et causalité circulaire en physique”, in *L’explication dans les sciences*, Flammarion.

HALBWACHS, F., (1981), “Histoire de l’énergie”, *CUIDE*, n° 18, Université Paris 7.

KUHN, T.S., (1970), *La structure des révolutions scientifiques*, 2<sup>de</sup> édition, Flammarion, 1983 pour l’édition française.

KUHN, T.S., (1990), “Un exemple de découverte simultanée : la conservation de l’énergie”, in T.S. Kuhn, *La tension essentielle*, Gallimard, nrf (1959 pour la version originale).

LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A., (1990 a), “Apprentissage des concepts en mécanique et modélisation de situations expérimentales”, *European Journal of Psychology of Education*, Vol. V, n° 4.

LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A., (1990 b), *L’apprentissage de la modélisation dans l’enseignement de l’énergie*, Rapport de fin de contrat, Paris, LIRESPT, INRP.

LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A., (1993), *Construire des concepts en physique*, Hachette, coll. didactiques.

LEMEIGNAN, G., WEIL-BARAIS, A., (1994), "Developmental approach to cognitive change in mechanics", in *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", in *Science Education*, Vol. 74, n° 5, pp. 571-583.

MERLEAU-PONTY, J., (1979), "La découverte des principes de l'énergie : l'itinéraire de Joule", *Revue d'histoire des sciences*, XXXII/4.

OGBORN, J., (1986), "Energy and fuel - the meaning of the "go of things"", in *School Science Review*, n° 242, pp. 30-35.

ROBARDET, G., (1995), *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet naissant*, Thèse, Grenoble 1.

ROBARDET, G., GUILLAUD, J.-C., (1993), *Éléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques : de la recherche à la pratique*, I.U.F.M. de Grenoble.

ROLANDO, J.-M., (1993), *Le concept de chaleur et sa transposition didactique dans l'enseignement secondaire scientifique français*, Université de Genève.

ROZIER, S., (1988), *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire*, Thèse, Paris VII.

ROZIER, S., (1991), "Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique", in *Actes du premier séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*, Institut de Formation des Maîtres, Université Joseph Fourier, Grenoble, pp. 197-207.

SÉRÉ, M.-G., TIBERGHEN, A., (1983), *Les représentations des élèves de 6ème et leur évolution ; Température, chaleur - État gazeux*, Rapport de recherche, Paris, INRP, LIRESPT.

SOLOMON, J., (1983 a), "Learning about energy : how pupils think in two domains", in *European Journal of Science Education*, Vol. 5, n° 1, pp. 49-59.

SOLOMON, J., (1983 b), "Messy, contradictory and obstinately persistent : a study of children out-of-school ideas about energy", in *School Science Review*, Vol. 65, pp. 225-229.

SOLOMON, J., (1982), "How children learn about energy or Does the first law come first ?", *School Science Review*, Vol. 63.

TATON, R., (1961), *Histoire générale des sciences*, Tome 3, volume 1.

TIBERGHIEU, A., (1989 a), "Difficulté dans l'apprentissage de la physique : la structuration du monde matériel en physique et dans la vie quotidienne", in *Construction des savoirs : obstacles et conflits*, sous la direction de Bednarz Nadine, Garnier Catherine, Ottawa, Editions Agences d'ARC inc.

TIBERGHIEU, A., (1989 b), "Phénomènes et situations matérielles : quelles interprétations pour l'élève et pour le physicien ?", in *Construction des savoirs : obstacles et conflits*, sous la direction de Bednarz Nadine, Garnier Catherine, Ottawa, Editions Agences d'ARC inc.

TIBERGHIEU, A., (1991), "Analyse des contraintes sur un contenu d'enseignement élaboré dans le cadre de la recherche en didactique", in *Actes du premier séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*, Institut de Formation des Maîtres, Université Joseph Fourier, Grenoble, pp. 151-171.

TIBERGHIEU, A., KOLIOPOULOS, D., (1986), "Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèges", in *Aster* n° 2, *Éclairages sur l'énergie*, pp. 167-178.

TRUMPER, R., (1990), "Being constructive : an alternative approach to the teaching of the energy concept", in *International Journal of Science Education*, Part one : vol. 12, n° 4, pp. 343-354. Part two : vol. 13, n° 1, pp. 1-10.

VIENNOT, L., (1989 a), "Obstacle épistémologique et raisonnements en physique : tendance au contournement des conflits chez les enseignants", in *Construction des savoirs : obstacles et conflits*, sous la direction de Bednarz Nadine, Garnier Catherine, Ottawa, Editions Agences d'ARC inc.

VIENNOT, L., (1989 b), "Tendance à la réduction fonctionnelle : obstacle au savoir scientifique et objet de consensus", in *Construction des savoirs : obstacles et conflits*, sous la direction de Bednarz Nadine, Garnier Catherine, Ottawa, Editions Agences d'ARC inc.

VIENNOT, L., (1992), "Raisonnement à plusieurs variables : tendance à la pensée commune", in *Aster* n° 14, *Raisonner en sciences*.

VIGLIETTA, L., (1989), "Il secondo principio della termodinamica in un corso di fisica a livello di Scuola Secondaria Superiore : un approccio macroscopico", in *La Fisica nella Scuola*, Vol. 22, n° 2, pp. 5-41.

VIGLIETTA, L., (1990), "A more 'efficient' approach to energy teaching", in *International Journal of Science Education*, Vol. 12, n° 5, pp. 491-500.

WATTS, D.M., (1983), "Some alternative views of energy", in *Physics Education*, Vol. 18, pp. 213-216.

## ANNEXE I

### Posséder ou produire de l'énergie ?

Il est question d'un objet qui, dans sa chute, entraîne une génératrice, elle-même reliée à une ampoule. Les élèves doivent fournir une interprétation respectant le principe de conservation de l'énergie.

Nous reproduisons les échanges en italiques. Ils se font entre le professeur et trois élèves : Max, Aude et Katel. Nos propres commentaires sont en caractères romains.

Max : *Ce qu'on veut dire, c'est que comme ça tombe de plus haut, ça prend plus de vitesse.*

Prof. : *Quand elle possède de la vitesse, elle possède aussi de l'énergie ?*

Max : *L'énergie mécanique.*

Prof. : *Vous avez appris comment en classe ?*

Max : *Énergie cinétique.*

Prof. : *Et avant de tomber, elle possédait de l'énergie ?*

Aude : *Non*

Prof. : *D'où vient cette énergie cinétique ?*

Aude : *Du mouvement.*

Max : *De la chute.*

On reconnaît ici ce que nous avons appelé "l'énergie en action". L'énergie vient du mouvement, de la chute...

Prof. : *Et donc, l'énergie cinétique a été créée comme le mouvement a été créé ?*

Aude : *Non, parce que l'énergie elle peut pas être créée. Elle vient de quelque part.*

Aude commence à percevoir le problème logique qui se pose lorsque la situation est examinée à l'aide des connaissances sensibles et du principe de conservation.

Katel : *Justement, le poids en tombant crée de l'énergie cinétique et donc il donne une énergie mécanique au moteur.*

Katel, à ce moment, n'a pas conscience du problème.

Aude : *Oui, mais d'où elle vient cette énergie ?*

Moment intéressant, car Aude s'est approprié le problème et relaye le professeur vis-à-vis de ses camarades.

Max : *De la chute du poids.*

Aude : *Oui mais d'où elle vient l'énergie de la chute du poids ? Il la prend bien quelque part ?*

Max : *C'est l'attraction.*

Prof. : *Où est-ce que vous la mettriez cette énergie avant que l'objet tombe ? Est-ce qu'elle est localisée quelque part ?*

Max : *Ça peut être l'attraction.*

Aude : *L'attraction terrestre.*

Katel : *Ou du vide.*

Max : *Elle vient de l'attraction terrestre.*

Aude : *L'énergie cinétique provient du mouvement de la masse grâce à l'attraction terrestre.*

Max et Aude ont résolu le problème à leur niveau. Le professeur quitte à cet instant le groupe (gestion de la classe oblige...).

Nous reproduisons ci-dessous un moment de la synthèse. Le débat a lieu en classe entière. Après qu'un groupe a exposé l'interprétation qu'il donne de la situation, le professeur demande si celle-ci respecte le principe de conservation.

E1 : *La masse, elle a dû perdre de l'énergie.*

E2 : *C'est pas la masse qui donne de l'énergie, c'est le mouvement.*

Les débats observés dans les petits groupes sont repris dans le groupe-classe.

E1 : *Si, c'est la masse... enfin, c'est l'attraction terrestre.*

E3 : *L'énergie du départ c'est la gravité, c'est tout !*

Prof. : *Juste au moment où vous lâchez...*

E : *Quand on lâche, c'est l'attraction terrestre qui se fait, qui attire le poids.*

Prof. : *Donc, quand on lâche, y a pas d'énergie ?*

E : *Si ! Dans le poids, dans la masse, vu qu'elle peut pas venir de nulle part.*

Max : *Elle est dans l'attraction. C'est dans la gravité que l'énergie est contenue.*

Le professeur se tourne vers un extincteur accroché au mur, propose un énoncé, et demande s'il respecte le principe de conservation de l'énergie.

Prof. : *Cet extincteur n'a pas d'énergie, mais s'il se décroche, en tombant, il acquiert de l'énergie.*

*Ce raisonnement respecte-t-il le principe de conservation de l'énergie ?*

E : *Non, il respecte pas.*

Assentiment de l'ensemble de la classe.

Prof. : *Que faudrait-il dire, pour cet extincteur, pour que le principe soit respecté ?*

E : *Dire qu'il a de l'énergie, mais qu'on la voit pas.*

Prof. : *Je corrige l'énoncé. Cet extincteur possède une énergie. Et si je le lâche, comment expliquer qu'il va acquérir de la vitesse ?*

Max : *Moi, je suis pas d'accord moi.*

Max s'était précédemment constitué une explication. Il conteste celle qui est en train de s'élaborer. On peut au moins être sûr qu'il aura pleine conscience de l'écart entre sa façon de raisonner et celle qu'il lui faudra apprendre. On peut raisonnablement faire l'hypothèse qu'il mènera à terme cet apprentissage malgré une déstabilisation momentanée.

Katel : *C'est l'énergie de l'attraction terrestre.*

Max : *Ou alors, c'est l'énergie du poids.*

E : *Il va transformer son énergie, comme le gaz et l'air avant, on voyait pas l'énergie mais c'est devenu au bout d'un moment de la chaleur. Là, il va transformer son énergie qu'on voit pas en énergie cinétique.*

Ce dernier élève fait allusion à la situation gaz → ampoule qui avait été étudiée précédemment.

## ANNEXE II

## Réinvestissement du concept d'énergie chimique

"Un enfant, initialement immobile sur une balançoire, peut réussir à s'élaner sans toucher le sol. Il se met ainsi en mouvement."

- ① L'enfant lance ses jambes en avant : celles-ci ont donc une énergie cinétique. Cette énergie est ensuite transmise à la balançoire sous forme d'énergie cinétique, par travail mécanique.
- ② L'énergie contenue dans le corps met en mouvement les jambes, ce qui donne une énergie mécanique à la balançoire. Donc, il y a bien conservation de l'énergie.  
L'enfant gagne de l'énergie (mécanique).
- ③ Grâce à son énergie musculaire, il exerce une force qui avec la résistance de l'axe forme un couple. La balançoire est donc en mouvement de rotation.  
L'énergie mécanique est prise à l'énergie musculaire.
- ④ Les muscles produisent de l'énergie mécanique, tirée d'une énergie chimique, qui est convertie ensuite en énergie mécanique et potentielle et cinétique.
- ⑤ L'énergie mécanique acquise par l'enfant vient de l'énergie chimique interne liée à la structure microscopique de l'enfant qui provoque un mouvement musculaire qui met en mouvement la balançoire. C'est donc l'énergie chimique interne liée à la structure microscopique qui s'est transformée en énergie mécanique.

## ANNEXE III

## Construction du concept d'énergie physique

"Pour refroidir son assiette de soupe trop chaude, Toto met un peu de beurre. Son frère, dont l'assiette contient la même quantité de soupe à la même température, préfère mettre un peu de lait. Au bout de quelques instants, la soupe de Toto a bien refroidi alors que celle de son frère est encore trop chaude. Pourtant, le beurre et le lait étaient à la même température et ont été utilisés en même quantité. Interpréter cette situation..."

① Le beurre en fondant refroidit la soupe sur une durée plus longue, car il met du temps à changer d'état, ce qui fait qu'à l'arrivée la soupe a refroidi régulièrement, elle est donc plus fraîche.

② Le lait et le beurre libèrent une énergie potentielle d'interaction liée à la température. Le beurre libère en plus une énergie interne (sa structure est modifiée). Les énergies sont cédées à la soupe sous forme de chaleur qui fait diminuer la température. Comme le beurre en libère plus, la soupe refroidit plus.

③ Le beurre en fondre prend de l'énergie sous forme de chaleur à la soupe tandis que le lait déjà sous forme liquide ne provoque aucun échange d'énergie.

④ Le beurre contient de l'énergie parce qu'il est solide. En fondant il cède son froid à la soupe, c'est tout du au changement d'état physique du beurre.

⑤ Le Beurre doit changer d'état il a besoin de plus d'énergie que le lait prend à la soupe. Alors que le lait prend moins d'énergie et la soupe peut arriver à la même température.