



HAL
open science

De l'enseignement de l'énergie à l'école élémentaire

Cyril Therras, Jérémy Arcelin

► **To cite this version:**

Cyril Therras, Jérémy Arcelin. De l'enseignement de l'énergie à l'école élémentaire. Education. 2012. dumas-00814253

HAL Id: dumas-00814253

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00814253>

Submitted on 16 Apr 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Université Montpellier II
Institut Universitaire de Formation des Maîtres
de l'académie de Montpellier

Master « Métiers de l'Éducation et de la Formation »
Mémoire de recherche de 2ème année

Année universitaire 2011 – 2012

De l'enseignement de l'énergie à l'école élémentaire

Therras Cyril et Arcelin Jérémy

Directeur de mémoire : Manuel Bächtold

Tuteur du mémoire : Manuel Bächtold

Assesseur : Muriel Guedj

Soutenu en juin 2012

Résumé

A travers ce travail de recherche nous nous sommes interrogés sur l'enseignement de l'énergie à l'école primaire et plus particulièrement sur l'acquisition du principe de conservation de l'énergie de manière latente chez des élèves de cycle 3.

Pour cela, il s'agit avant tout de faire un point scientifique sur les notions inhérentes au concept d'énergie : conservation, conversion, transfert, dissipation, système, chaîne énergétique, sources et formes d'énergie en constituent les piliers. Il est également indispensable de se questionner sur la construction du concept d'un point de vue épistémologique pour identifier les obstacles et étapes nécessaires à sa construction. Cette étude des différents aspects du concept d'énergie permet d'identifier les ingrédients au cœur du concept qu'il s'agira d'enseigner.

Les travaux des didacticiens dans ce domaine ont permis de mettre en avant les conceptions récurrentes, concernant l'énergie, chez les étudiants et les élèves. Conceptions qu'il s'agit de remettre en cause pour mener les élèves vers une représentation correcte de l'énergie. Un obstacle perçu comme central par ces chercheurs est celui constitué par l'énergie potentielle, notion inaccessible selon eux pour des élèves de cycle 3. Toutefois il est impossible de mener les élèves vers la conservation de l'énergie sans évoquer l'énergie potentielle. C'est pourquoi son acquisition est au cœur de notre projet. L'étude de l'énergie potentielle combinée à celle de l'énergie cinétique, davantage abordable, permet d'illustrer et de comprendre les conversions, les transferts et la dissipation d'énergie au travers des chaînes énergétiques. Nous montrons également que, pour mener les élèves vers la conservation, la notion de système ne peut être éludée. Effectivement, comment considérer que l'énergie est conservée si l'on ne se place pas dans un système donné, inscrit lui-même dans un système plus vaste ? Cette notion de système doit donc occuper une place importante dès le début de l'enseignement délivré, et être réinvesti avec les chaînes énergétiques, notamment avec les centrales, d'autant plus que la conception fonctionnelle chez les élèves semble être de plus en plus présente dans la société actuelle.

La séquence d'enseignement que nous proposons reprend l'ensemble de ces éléments. Notre échantillon, constitué de deux classes de CM2, nous a permis de tester ces hypothèses. Les résultats de notre recherche semblent concluants : il apparaît que les élèves de CM2 sont à même de comprendre la présence d'énergie dans un corps immobile placé en hauteur et de faire les liens nécessaires pour comprendre les notions de conversion et de transfert entre les différentes formes d'énergie. Nous montrons que la notion de dissipation est également accessible. Les prolongements que nous proposons ont pour objectif l'acquisition de toutes ces notions par les élèves. L'acquisition

efficace de ces objectifs par l'ensemble des élèves ne peut être atteinte avec une séquence de 6 heures. C'est pourquoi nous proposons deux alternatives : une progression sur trois ans, en accord avec les instructions officielles parues en 2012 ; ou à minima une séquence avec un volume horaire plus important au CM2, qui laissera suffisamment de place aux phases d'expérimentation, de réinvestissement et de consolidation nécessaires à la compréhension de ces notions complexes.

Mots clés :

- énergie,
- enseignement primaire,
- conservation de l'énergie,
- conceptions,
- énergie potentielle.

Table des matières

Introduction.....	5
I) Les différents aspects du concept d'énergie.....	8
I.1) D'un point de vue scientifique.....	8
I.2) Construction du concept de conservation d'énergie du point de vue épistémologique.....	10
II) Les conceptions des élèves.....	12
II.1) Les conceptions des élèves du point de vue de la recherche.....	12
II.2) Tenant compte de ces conceptions, quand doit-on commencer à enseigner l'énergie ?.....	13
II.3) Questionnaire diagnostique et analyse des résultats.....	15
II.3.1) Le questionnaire diagnostique	15
II.3.2) Conceptions des élèves déterminées à partir des mots qu'ils associent à l'énergie et de leur définition.....	16
II.3.3) Hypothèses des élèves concernant l'expérience avec le bol et la bille.....	19
II.3.4) Conceptions des élèves concernant l'énergie potentielle.....	20
II.3.5) Conceptions concernant l'isolation thermique (la laine chauffe-t-elle ?).....	21
III) Des pistes pour l'enseignement de l'énergie.....	22
III.1) Les pistes d'enseignement des chercheurs	22
III.1.1) Dans l'enseignement secondaire.....	22
III.1.2) Dans l'enseignement primaire.....	23
III.2) Les ingrédients nécessaires à la compréhension du principe de conservation de l'énergie.....	24
III.3) Des pistes pour enseigner ces ingrédients en cycle 3.....	26
III.3.1) Le système.....	26
III.3.2) Les sources d'énergie et les effets associés à l'énergie.....	26
III.3.3) Énergie potentielle et énergie cinétique.....	27
III.3.4) Conversion, Transfert et Dissipation	28
III.3.5) Vers la conservation.....	31
IV) Proposition de séquence.....	32
IV.1) Les textes officiels.....	32
IV.2) Proposition d'une séquence pour un niveau CM2.....	34
IV.2.1) Les sources d'énergie renouvelables et fossiles.....	36
IV.2.2) Expérience du moulin : énergie potentielle et cinétique.....	40
IV.2.3) La chaîne énergétique de l'expérience du moulin : conversion, transfert, dissipation et formes d'énergie.....	43
IV.2.4) Réinvestissement des ingrédients à travers une étude des centrales.....	46
IV.2.5) Expérience avec la bille : vers la conservation de l'énergie.....	51
IV.2.6) : Isolation thermique et économie d'énergie.....	53
IV.2.7) Évaluation énergie CM2.....	56
V) Observation et analyse de la séquence enseignée en classe.....	61
V.1) Frottements et dissipation d'énergie.....	61
V.2) Énergie cinétique et potentielle : conversion progressive et transfert.....	63
V.3) La notion de système.....	69
Conclusion.....	70
Bibliographie.....	73
Annexes.....	74

Introduction

A travers notre travail de recherche de l'année passée, nous avons mis en évidence l'importance du concept d'énergie (Arcelin, Therras, 2011). Même s'il a été long à construire, l'énergie, de par son principe de conservation, est un concept central de la physique. C'est d'ailleurs le principal enjeu de son enseignement dès les études secondaires jusqu'au niveau universitaire. Concernant l'enseignement primaire, l'enjeu est tout autre : c'est avant tout un enjeu sociétal, une motivation civique afin de comprendre le monde en rapide évolution.

Les polémiques que l'on retrouve dans l'enseignement secondaire, plaçant l'énergie dans une catégorie particulière au vue de sa complexité, ont largement leur place dans l'enseignement primaire puisqu'il s'agit d'enseigner un concept de la physique des plus abstraits. Cet enseignement peut alimenter des conceptions erronées chez les élèves qu'ils pourront avoir déjà construites au contact du monde qui les entoure. Par exemple si l'enseignement est axé sur l'aspect utilitaire de l'énergie dans notre société, les élèves risquent d'avoir une conception fonctionnelle de l'énergie : elle sert à rendre la vie plus confortable. L'énergie est partout et on la retrouve surtout à travers les médias qui en font un sujet omniprésent, sans pour autant communiquer de manière scientifique. Si ce terme est connu des enfants, son sens, lui, est loin d'être intégré. De plus, il apparaît comme difficilement abordable dans le supérieur, et sans définition précise.

Au regard des programmes actuels, l'enseignement de l'énergie proposé à l'école primaire paraît établi sous un point de vue utilitaire. Nous proposons ici une approche donnant davantage de cohérence globale entre l'enseignement primaire et secondaire en préparant les élèves à l'acquisition du concept scientifique, notamment de la conservation de l'énergie, de manière latente. Effectivement, ce principe de conservation d'énergie étant essentiel au concept d'énergie lui-même, il nous apparaît indispensable d'apporter aux élèves de primaire les ingrédients qui leur permettront dans le secondaire de comprendre au mieux le concept. En ce sens, au cours de ce mémoire, nous nous proposons d'établir une séquence pour des élèves de primaire, en tenant compte de leurs conceptions initiales. Ces conceptions seront recueillies à travers divers articles de didactique, mais aussi par l'intermédiaire d'un questionnaire distribué aux élèves en amont de cette séquence. Il paraît difficile d'établir une méthode pleinement constructiviste, il s'agit pour l'enseignant d'être au plus proche d'une démarche d'investigation.

Cette séquence sera notre cadre de travail de recherche pour s'intéresser aux difficultés inhérentes à ce projet, particulièrement les obstacles didactiques déjà identifier par certains auteurs, notamment Trellu et Toussaint (1986). Selon eux, ces obstacles sont liés aux contenus et vocabulaire scientifiques, au développement de l'enfant ou encore à l'approche méthodologique. Parmi ces obstacles, certains semblent plus problématiques que d'autres, particulièrement le principe de conservation de l'énergie qui apparaît comme « contre intuitif » selon Solomon (1985, p.167). C'est pourquoi il serait nécessaire de traiter simultanément la notion de dissipation et de conservation de l'énergie : cette notion de dissipation est indispensable pour comprendre la conservation sur l'ensemble du système. La difficulté réside aussi au niveau épistémologique de ce principe, il est effectivement difficile de penser qu'un enfant pourrait comprendre par lui-même un concept que les scientifiques ont mis plus d'un siècle à construire (Arcelin, Therras, 2011, p.6-8).

Ce travail de recherche, ainsi que la séquence délivrée aux élèves de l'école Lamartine, n'a donc pas pour prétention de réussir à faire construire le concept de conservation de l'énergie à des élèves de CM2. Il est question de construire, chez les élèves, le concept de conservation de l'énergie de manière latente.

Quels sont les ingrédients qui peuvent permettre, à des élèves de cycle 3, de s'approcher au plus près du concept de conservation de l'énergie ?

Il s'agira, à travers ce mémoire, de définir les ingrédients nécessaires à la construction du principe de conservation de l'énergie, afin que les élèves aient un maximum d'éléments pour, plus tard, pouvoir réellement comprendre ce concept. La séquence testée, dans deux classes de CM2, permettra de vérifier la capacité cognitive de l'acquisition effective de ces ingrédients.

Pour ce faire, nous expliquerons dans un premier temps les différents aspects du concept d'énergie d'un point de vue scientifique et épistémologique dans le but d'établir un cadre théorique, qui servira de référence pour l'ensemble du mémoire, mais aussi de mettre en évidence les obstacles rencontrés par les scientifiques lors de la construction de ce concept.

Ces éléments nous permettront, dans un deuxième temps, de nous focaliser sur les conceptions des élèves. D'abord nous nous appuierons sur une littérature de didacticiens ayant établis une liste des conceptions récurrentes. Ceci nous amènera à nous interroger sur la polémique existante concernant la maturation cognitive nécessaire pour l'apprentissage du concept d'énergie. Enfin, à partir des résultats du questionnaire diagnostique proposé, nous établirons les conceptions des élèves formant notre échantillon de recherche.

Ces informations nous servirons d'outils pour appréhender la troisième partie. Il sera question ici de

déterminer les ingrédients nécessaires à la construction du concept de conservation de l'énergie de manière latente, pour définir une stratégie d'entrée et d'enseignement d'une séquence pour des élèves de CM2. Celle-ci sera présentée dans une quatrième partie.

Enfin, la dernière partie sera consacrée à l'analyse critique de la méthode d'enseignement, faisant fait des résultats chez les élèves, des éléments à conserver et à modifier pour s'approcher au mieux d'un apprentissage constructiviste du concept d'énergie. En effet, notre approche propose de passer par une démarche d'investigation à partir des hypothèses des élèves, en faisant intervenir des manipulations et des expériences. Nous pensons que cette démarche peut favoriser l'apprentissage des élèves, d'autant plus qu'il s'agit d'un concept très abstrait.

I) Les différents aspects du concept d'énergie

I.1) D'un point de vue scientifique

Cette partie nous permet de faire un point essentiel sur les définitions scientifiques liées au concept d'énergie. Il est indispensable de bien comprendre tous ces termes pour pouvoir ensuite faire des choix didactiques d'enseignement.

- **conservation de l'énergie** : c'est le principe central de ce concept. Il n'y a pas création ou disparition de l'énergie, elle change de forme ou est transférée d'un système à un autre. « Elle [la loi de conservation de l'énergie] dit qu'il y a une certaine quantité, qu'on appelle énergie, qui ne varie pas dans les multiples changements que la nature a subi. » (Feynman, 1965). Il s'agit du premier principe de la thermodynamique.
 - **Conversion** : c'est un aspect de la conservation de l'énergie, on appelle conversion le passage d'une forme d'énergie à une autre (ex : lorsqu'une bille tombe, il y a transformation de son énergie potentielle ($E_p = mgh$) en énergie cinétique ($E_c = \frac{1}{2}mv^2$)).
 - **Transferts d'énergie** : Il existe trois modes de transferts :
 - par travail mécanique ou électrique
 - par rayonnement électromagnétique
 - par transfert thermique (modes de propagation par conduction, convection ou rayonnement).L'énergie passe d'un système à un autre mais conserve la même forme.
 - **Dissipation d'énergie** : au cours de toute conversion ou tout transfert d'énergie il y a une dissipation d'énergie sous forme thermique (énergie cinétique moléculaire). Cette énergie est dissipée dans l'environnement et n'est plus directement utilisable par l'homme, c'est pourquoi on parle souvent de pertes ou de dégradation d'énergie. Il s'agit du deuxième principe de la thermodynamique.
- **Chaîne énergétique** : A partir des trois aspects précédents, il existe des chaînes de transferts et de conversions d'énergie qui se nomment chaînes énergétiques. L'énergie d'entrée de la chaîne (E_i = énergie initiale) est égale à l'énergie de sortie (E_u = énergie utile) plus les dissipations pour chaque conversion ou transfert. ($E_i = E_u + \text{dissipation}$).

Le rapport E_u/E_i est appelé rendement.

- **Principe de réversibilité** : en partant de la loi de conservation de l'énergie, une conversion ou un transfert d'énergie peut cheminer dans le sens inverse pour revenir à l'état initial. Ce principe reste théorique car en pratique, au cours de toute conversion ou tout transfert, il y a une dissipation d'énergie sous forme thermique, n'offrant pas une réversibilité totale (il n'existe toujours pas de systèmes permettant des rendements égaux à 100%).
- **Les différentes formes d'énergie** :
 - macroscopique : énergie mécanique cinétique et potentielle
 - microscopique : énergie cinétique moléculaire, chimique, nucléaire
 - immatérielle : énergie électromagnétique → énergie rayonnante + énergie électrique
Le rayonnement électromagnétique peut donc être considéré comme un mode de transfert mais aussi comme une forme d'énergie au cours de ce transfert.
- **Les différentes sources d'énergies et leurs formes associées** :
 - **Sources renouvelables (= inépuisables à l'échelle humaine de temps):**
 - Soleil → énergie rayonnante (appelée couramment énergie solaire)
 - Vent → énergie cinétique des molécules de l'air (appelée couramment énergie éolienne)
 - Eau → énergie mécanique : cinétique et potentielle (appelée couramment énergie hydraulique)
 - Terre → énergie cinétique moléculaire (appelée couramment énergie géothermique)
 - Matière organique (animaux et végétaux) → énergie chimique (appelée couramment énergie verte)
 - **Sources fossiles : non renouvelables** :
 - combustibles fossiles :
 - pétrole, charbon, gaz,... → énergie chimique → énergie cinétique moléculaire (appelée couramment énergie thermique).
 - combustibles nucléaires → énergie nucléaire

D'un point de vue sociétal, une source d'énergie est associée à une forme d'énergie (dite énergie solaire, hydraulique,...), mais ces formes sont erronées d'un point de vue scientifique.

○ **La notion de système :**

Trellu et Toussaint (1986, p.53-54) ont mis en avant trois grands types de système. :

On peut tout d'abord définir le système de la manière suivante : « un corps ou un ensemble de corps de masse déterminée et délimité dans l'espace [qui se distingue] du reste du monde que nous appellerons le "milieu extérieur". » (Kastler, 1962).

- **système fermé** : il peut effectuer des échanges d'énergie mais pas d'échanges de matière avec le milieu extérieur car « les parois sont alors imperméables à la matière » (Kastler, 1962).
- **système ouvert** : ici les parois sont semi-perméables et permettent ainsi, en plus des échanges d'énergie, des échanges de matière (Kastler, 1962).
- **système isolé** : système qui n'effectue aucun échange avec le milieu extérieur : ni de matière, ni d'énergie (*Dictionnaire de Physique et de Chimie*, 1978).

Notons qu'un système réellement isolé n'existe pas : il y a toujours des échanges d'énergie avec le milieu extérieur, même s'ils sont très restreints. Ceci découle du second principe de la thermodynamique. Considérer un système isolé est donc une approximation, mais qui permet de créer et d'expliquer des modèles théoriques rendant compte, au mieux, de la réalité.

I.2) Construction du concept de conservation d'énergie du point de vue épistémologique

Dans cette volonté d'enseigner l'énergie à l'école élémentaire, il nous est apparu que pour bien comprendre ce concept il faut déjà avoir compris sa conservation. Comme l'a dit Feynman, « la principale caractéristique de l'énergie : être conservée » (Lecourt, 2006, p.342-343).

Pour saisir pleinement la construction de ce concept il s'agit d'en identifier les étapes épistémologiques déterminantes.

Il faut retenir que ce concept repose sur des travaux antérieurs comme ceux de Leibniz, qui met en évidence le fait qu'il existe dans la Nature quelque chose qui se conserve au cours des processus physiques : cette chose qu'il nomme force vive ($= mv^2$) en 1690 (Lecourt, 2006, p.343-344). Pour Bernoulli c'est donc cette force vive, qu'il n'applique qu'au cas particulier de la mécanique, qui occupe une place centrale dans la manière dont est régi le monde. Il y applique une notion de

conservation substantialiste :

force vive, considérée comme une forme de substance en quantité définie qui ne peut diminuer qu'en produisant des effets, en sorte que chaque fois que de la force vive semble disparaître, le pouvoir d'agir n'est pas perdu mais simplement transformé. (Lecourt, 2006, p.344)

Mais l'on peut aussi citer les travaux de Lavoisier concernant la conservation de la masse : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » issue en réalité de sa citation dans *Le traité élémentaire de chimie* (Lavoisier, 1789, p.101) :

... car rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération ; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications.

Néanmoins le concept central de conservation de l'énergie a été mis en évidence par une autre propriété de l'énergie : la conversion. Ceci représente un ingrédient indispensable dans la construction de ce concept, et doit occuper une place importante dans les choix d'enseignement de l'énergie.

Cette propriété a été utilisée par les ingénieurs du fait des nécessités industrielles de l'époque. En voici quelques exemples :

- L'invention de la pile par Volta en 1800 (conversion d'énergie chimique en énergie électrique)
- La conversion du mouvement en courant électrique démontré par Faraday en 1831
- La conversion de chaleur en mouvement avec la machine à vapeur

Cette évolution a mené vers les travaux de Helmholtz qui « est celui qui a réuni les deux bouts de la chaîne, celle de la métaphysique leibnizienne et celle de l'invention technique, en établissant mathématiquement la loi de conservation. » (Lecourt, 2006, p.345).

De plus, les travaux de Carnot et de Joule en thermodynamique confirment cette loi de conservation par un travail expérimental qui mettra en avant la notion de transformation sous forme de chaleur au cours des processus. Ceci deviendra la deuxième loi de la thermodynamique concernant la dissipation d'énergie thermique au cours des transferts et conversions d'énergie. Ainsi, pour Carnot, il n'y a donc pas consommation de calorique mais bien conservation sous la forme d'un transport.

En conclusion à ces éléments, il paraît important que, pour que les élèves construisent le concept de conservation d'énergie, ils en passent par la compréhension des notions de conversion, transfert et dissipation d'énergie. Il paraît également favorable d'avoir déjà saisi les grands principes de conservation comme ceux de la matière pour ensuite aborder celle de l'énergie même si cette dernière n'est pas un corps matériel. C'est ce que nous verrons en partie III.2).

II) Les conceptions des élèves

II.1) Les conceptions des élèves du point de vue de la recherche

L'analyse d'articles sur les représentations du concept d'énergie pourra nous éclairer dans la mise en œuvre de notre projet. Effectivement, il semble primordial de partir des conceptions des élèves pour les restructurer, voire les éliminer.

L'article *Some alternative views of energy* de D. Michael Watts (1983, p.214-216) ainsi que celui de R. Trumper (en référence à D.M. Watts), *Children's energy concepts : a cross-age study*, (1993, p.140) mettent en avant sept conceptions récurrentes sur l'énergie, auxquelles nous ferons référence lors de l'analyse des conceptions des élèves de deux classes de CM2 :

1. vision anthropocentrique de l'énergie : l'énergie est associée au corps humain. Cette conception est sûrement due au langage courant : « j'ai de l'énergie aujourd'hui ». Dans cette représentation il y a souvent une part d'anthropomorphisme : les objets sont traités comme ayant des attributs humains, il y a de l'énergie dans les objets, mais seul l'humain peut utiliser cette énergie.
2. L'objet comme réservoir d'énergie : certains objets ont de l'énergie et d'autres en ont besoin (ex: la batterie a de l'énergie, l'ampoule en a besoin). Les objets peuvent dépenser cette énergie et sont rechargeables.
3. L'énergie comme ingrédient dormant : l'objet possède de l'énergie qui n'est libérée que sous une impulsion (ex: l'énergie n'est pas emmagasinée dans la nourriture, mais ça donne de l'énergie quand on la mange).
4. L'énergie comme activité visible : pour ces enfants l'énergie est le mouvement lui même : l'énergie est entraînée par le mouvement. Quelque chose d'immobile ne possède pas d'énergie. Souvent l'énergie est liée à un verbe ou un mot qui décrit une action.
5. L'énergie comme produit d'un processus : ce n'est ni un ingrédient ni un processus mais le produit d'une situation. L'énergie est non conservée, a une courte durée de vie, puis disparaît (ex: les produits chimiques peuvent dégager de leur énergie et produire de la chaleur sous forme de vapeur qui disparaît ensuite).
6. L'énergie est fonctionnelle : elle est plus ou moins restreintes dans les processus techniques, n'est pas essentielle dans tous les processus, et est principalement associée avec le fait de rendre la vie plus confortable. Ex : pour une vie sans aide technologique, il semble que l'on

n'est pas besoin d'énergie. L'énergie est faite délibérément pour être utile, pour aider au travail.

7. Un modèle de transfert par flux physique de l'énergie : ici l'énergie est une sorte de fluide transférée au cours des processus : quelque chose qu'on peut transporter, donner,... (ex : les flux suivent un circuit qui alimentent les ampoules dans la rue, qui transfèrent un peu de l'énergie (pour éclairer), et ensuite l'énergie retourne dans la batterie).

La plupart de ces conceptions ont une approche substantialiste de l'énergie.

Les conceptions les plus récurrentes selon Trumper sont :

- la vision anthropocentrique de l'énergie (1) jusque vers 7/8 ans (en lien avec le développement cognitif de l'enfant : il s'affranchit de l'égoïsme)
- L'objet comme réservoir d'énergie (2)
- l'énergie comme produit d'un processus(5)

II.2) Tenant compte de ces conceptions, quand doit-on commencer à enseigner l'énergie ?

Si l'énergie occupe une place centrale dans l'édifice de la physique c'est en raison de son principe de conservation de l'énergie qui entre dans les programmes du secondaire dès la fin du XIXème : « C'est dans les programmes du 24 janvier 1891 que le principe de conservation de l'énergie est introduit pour la classe de mathématiques élémentaires (terminale scientifique) ». (Guedj-Chauchard, 2003, p.54). Il est clair que si le concept est introduit à ce moment là c'est en raison de sa place au sein de la physique.

L'énergie apparaît donc comme un concept unificateur de la physique mais abstrait qui nécessite de bien maîtriser d'autres concepts indispensables pour sa complète compréhension. Milar dans son article *Teaching about energy*, (2005, p. 6) cite John Warren (1982) : « Il faut déjà avoir compris l'idée de travail qui elle même dépend d'une bonne compréhension de la force. ». D'après *Rencontres pédagogiques n°4* (M. Colomb, 1985, p.21) le concept d'énergie reste sous-jacent aux enseignements jusqu'à la classe de 4ème incluse. Les notions de force, de travail et de transfert d'énergie ne sont abordées qu'à partir de la classe de 3ème et davantage approfondies en classe de 1ère et Terminale, principalement dans les filières scientifiques. D'après John Warren, son

enseignement apparaît mieux compréhensible par des étudiants plus âgés. Ceci alimente les débats quant à son enseignement dans les études secondaires : pourtant en raison de son aspect unificateur, l'enseignement du concept est maintenu.

Mais dans les années 1970 semble émerger un fort enjeu sociétal, dû au contexte historique, qui influe les choix d'enseignement dans le supérieur, puisqu'il semble nécessaire de : « faire comprendre aux jeunes d'aujourd'hui, futurs citoyens (certains l'étant déjà), les problèmes énergétiques de notre temps » (Colomb, 1985, p. 11).

L'enjeu de l'enseignement secondaire en fin de siècle se situe donc à deux niveaux : un concept unificateur de la physique et une nécessité civique. Il est intéressant de constater qu'au moment où les bouleversements sociétaux semblent influencer l'enseignement dans le secondaire, l'énergie est introduite dans les programmes de primaire en 1980.

S'il y a des polémiques sur l'enseignement de l'énergie dans le secondaire, il y en a d'autant plus dans le primaire. C'est ce que nous retrouvons dans les idées divergentes de plusieurs didacticiens après cette insertion en 1980.

L'objet de notre recherche portant sur l'enseignement de l'énergie à l'école primaire, il est nécessaire de s'interroger sur ce que pensent ces chercheurs sur ce sujet.

Dans l'article *Children's energy concepts : a cross-age study* (1993. p.141-142), Trumper recense les différents points de vue et met en avant la polémique sur ce point :

- Warren pense que : « le concept d'énergie ne devrait être enseigné qu'aux étudiants ayant un haut niveau d'abstraction » (1986). Il va donc de soi qu'il est en désaccord avec son enseignement dans le primaire.
- A l'inverse, Solomon (1986) déclare que l'énergie devrait être enseignée le plus tôt possible, dès l'école primaire. Mais c'est seulement à la fin du collège que le moment semble approprié pour construire une abstraction des concepts comme l'apprentissage de l'énergie. Pour autant, selon Solomon, il semble plus efficace d'amener les élèves le plus tôt possible vers une abstraction, plutôt que d'attendre une certaine maturation cognitive qui permettrait l'apprentissage de concepts abstraits de la physique.
- Trumper cite également Driver et Bell (1986) :

Un point de vue constructiviste de l'apprentissage [...] reconnaîtrait que les étudiants ne construisent pas nécessairement une « complète » compréhension d'une aire conceptuelle quand elle leur est introduite pour la première fois. [...] le savoir doit être construit en tenant compte des idées des étudiants, des expériences peuvent leur être fournies pour les aider à changer leurs conceptions.

Concernant notre recherche nous nous appuyerons sur les idées de Solomon, Driver et Bell : même

si l'objectif n'est pas la compréhension totale du concept de l'énergie, il nous semble pertinent d'apporter aux élèves les premiers ingrédients qui leurs permettront par la suite de construire le principe de conservation de l'énergie. Pour aborder et intégrer ces ingrédients, l'expérience réalisée par les élèves doit occuper une place centrale dans l'apprentissage.

En accord avec le point de vue constructiviste, il apparaît nécessaire de tenir compte des conceptions des élèves.

II.3) Questionnaire diagnostique et analyse des résultats

II.3.1) Le questionnaire diagnostique

Pour tenir compte des conceptions des élèves, nous avons établi un questionnaire diagnostique inspiré de celui de Trumper décrit dans l'article *Being constructive : an alternative approach to the teaching of the energy concept-part one* (1990 p.344) :

1. Écrire des phrases qu'ils associent au terme énergie.
2. 5 définitions de l'énergie, correspondant aux 5 représentations erronées les plus courantes, sont proposées aux étudiants qui doivent en choisir une.
3. A partir de l'expérience suivante : on relâche une balle du point A sur une structure incurvée, les étudiants doivent prédire la hauteur que peut atteindre la balle en considérant qu'il n'y a pas de frottements. Ceci afin de savoir si les étudiants sont capables d'appliquer le concept d'énergie et plus particulièrement le principe de conservation de l'énergie.
4. Les étudiants doivent sélectionner 3 des 15 images dans lesquelles ils sont capables d'identifier le concept d'énergie, puis ils doivent expliquer leurs choix.

Le questionnaire de Trumper est prévu pour des lycéens, nous l'avons adapté pour des élèves de CM2. Nous avons supprimé la phase 4 de Trumper, mais le regrettons car cette dernière aurait permis une analyse plus fine des conceptions des élèves.

Voici le Questionnaire diagnostique proposé aux élèves avant le début de la séquence de manière à pouvoir l'utiliser :

- écrire les 5 premiers mots que vous associez à l'énergie
- expliquer ce qu'est pour vous l'énergie (à travers une phrase ou plusieurs)
- sur le schéma suivant, si on lâche la balle du point A, jusqu'où peut monter la balle
 - a) si l'on considère qu'il n'y a pas de frottements entre la balle et le support ?
 - b) avec des frottements ?



Lors de ce travail individuel il y a eu des difficultés sur la compréhension du terme frottement qu'il a fallu expliciter. De plus les élèves avaient la possibilité de dessiner la balle pour les cas a) et b). Enfin il est important de souligner que les conceptions des élèves dépendent aussi des apprentissages auxquels ils ont été confrontés au cours de leur scolarité. Dans notre cas, les élèves n'avaient pas étudié l'électricité, ni les transmissions et transformations de mouvements sur lesquelles nous aurions pu nous appuyer. Toutefois les élèves avaient déjà étudié le cycle de l'eau, qui sera utile pour comprendre ce qu'est une source d'énergie renouvelable, ainsi que la pollution, ce qui les avait informé sur certaines centrales, et enfin la matérialité de l'air indispensable pour comprendre les frottements avec l'air.

II.3.2) Conceptions des élèves déterminées à partir des mots qu'ils associent à l'énergie et de leur définition

Le questionnaire a été rempli par 37 élèves de CM2 à l'école Lamartine à Montpellier. Parmi les 37 élèves, 29 ont répondu aux deux premières questions sur lesquelles nous allons nous intéresser maintenant.

Nous avons tenté de les classer selon les catégories établies par Watts (voir II.1)) mais les réponses sont souvent floues et il est délicat de les interpréter correctement sans en parler réellement avec les élèves.

Il faut bien préciser qu'un élève n'a pas forcément une unique conception, au contraire, on en retrouve souvent deux. 18 élèves n'ont qu'une conception et 11 en ont deux. Il est important de préciser que les élèves ayant deux conceptions les ont dans deux contextes différents mais qu'ils les lient toutes deux à l'énergie. C'est ce que nous pouvons voir à travers cet exemple : « L'énergie c'est la vitesse dont va un objet quand on le lance très fort. (conception n°4) Et aussi cela peut-être dans les piles il y a de l'énergie. (conception n°2) ».

La conception qui semble ressortir le plus fréquemment est celle de l'énergie comme quelque chose de fonctionnelle, ce qui crée une rupture avec les résultats de Trumper, puis vient la vision anthropocentrique de l'énergie. Quant à cette rupture, nous pouvons émettre deux hypothèses ne s'excluant pas l'une l'autre :

- Avec le temps, les nombreuses et rapides évolutions technologiques, les conceptions ont pu connaître des modifications. Cette évolution des conceptions semblerait liée à l'évolution sociétale.
- Notre échantillon a une différence fondamentale avec celui de Trumper : il s'agit pour nous d'élèves de CM2 n'ayant jamais reçu d'enseignement sur l'énergie, l'électricité et les

transmissions et transformations de mouvements. Pour Trumper il s'agissait d'étudiants ayant eu une formation scientifique.

Notons également que nous disposions d'un échantillon très restreint ne nous permettant pas de nous approcher au mieux de la réalité. De plus, les deux classes concernées font parties de la même école et connaissent un enseignement scientifique identique avec le même professeur. Nous pouvons ainsi noter un manque de diversité concernant notre échantillon.

Tableau récapitulatif des conceptions relevées dans les questions 1 et 2 :

Conceptions	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Autres	Pas de réponse, ou non exploitable
Nombre d'élèves	10	2	1	5	0	20	2	2	8

Voici quelques exemples représentatifs d'élèves selon la conception :

1. vision anthropocentrique de l'énergie :

- « L'énergie pour moi c'est quand on se réveille et on a la pêche et aussi on reste active toute la journée. »
- « L'énergie est une sorte d'essence dont on se sert pour vivre. » Cette réponse nous paraît problématique d'autant plus que les mots choisis à la question 1 sont liés à l'aspect sociétal et fonctionnel (essence, renouvelable, fossile, électricité, vent). En utilisant le mot « essence » dans les deux questions, il nous semble que l'élève tente de faire une analogie entre le fonctionnement d'une voiture et du corps humain qui aurait lui aussi besoin de quelque chose pour le faire vivre.
- « L'énergie c'est de la puissance » Les termes puissances ou forces sont souvent utilisés par les élèves. Nous pensons qu'ils recouvrent un sens loin de leur définition scientifique mais plutôt lié au corps humain, notamment à travers l'influence des jeux vidéo et films fantastiques, d'autant plus que les élèves n'ont pas fait d'électricité durant leur scolarité.
- « L'énergie sert à faire marcher des engins... et à être en forme (autre sorte)... » Cette exemple montre des conceptions liées au corps humain mais aussi à l'aspect fonctionnel (C6) les deux ne sont donc pas forcément contradictoires selon certains élèves.
- « L'énergie pour moi, pour l'humain c'est avoir de la force et pour des objets c'est de l'électricité, de la lumière... » Ici aussi l'élève a deux conceptions de l'énergie : pour

l'homme (C1) et pour utiliser les objets (C6). Cela rejoint également la conception de l'objet comme réservoir d'énergie : il y a des objets qui ont besoin d'énergie.

2. L'objet comme réservoir d'énergie :

- « L'énergie c'est la vitesse dont va un objet quand on le lance très fort. Et aussi cela peut être dans les piles, il y a de l'énergie. » Ici encore, l'élève semble avoir deux conceptions de l'énergie : d'une part l'énergie comme activité visible (C4) mais aussi comme réservoir.

3. L'énergie comme ingrédient dormant :

- « L'énergie est une force qui est partout, à tout moment elle est ralentie par les frottements, c'est une grande force qui peut être utilisée. »

4. L'énergie comme activité visible :

- « Pour moi l'énergie c'est des mouvements et du frottement »
- « c'est une puissance qui permet d'améliorer un objet ou un être vivant en vitesse »

5. L'énergie comme produit d'un processus :

Ici encore il y a rupture avec les résultats de Trumper puisque nous n'avons pas relevé, à travers le questionnaire diagnostic, de représentations correspondant à un produit de processus. Nous pouvons interpréter ce résultat de la même manière que l'apparition d'une conception fonctionnelle plus récurrente. Toutefois, l'hypothèse liée à l'absence de formation scientifique sur le concept et ce qui l'entoure paraît avoir plus de poids que l'évolution sociétale. Même si cette conception est erronée, elle rend compte d'un raisonnement complexe pouvant être trop difficile à établir par un élève de CM2.

6. L'énergie est fonctionnelle :

Nous avons choisis de distinguer deux conceptions sensiblement différentes : une première directement liée à l'électricité, une seconde davantage liée à une utilisation par l'homme.

a) Liée à l'électricité

- « Ça sert souvent à produire de l'électricité »
- « Pour moi c'est de l'électricité »
- « Pour moi l'énergie c'est ce qui est électrique »
- « L'énergie c'est de l'électricité qui, quand on met par exemple une petite voiture au soleil, elle pourra rouler, mais si on met la petite voiture à l'ombre, elle ne va pas rouler car elle marche à l'énergie solaire » Ici on voit bien qu'il y a à la fois un lien avec l'électricité, mais dans le but de faire fonctionner quelque chose.

b) Aspect utilitaire

- « L'énergie c'est quelque chose qui fait fonctionner un objet électrique »
- « L'énergie c'est quelque chose qui fait fonctionner quelque chose »
- « ...on peut aussi en avoir besoin pour les téléphones »
- « L'énergie est ce qui permet à l'être humain de chauffer les plats, avoir chaud,... »

7. Un modèle de transfert par flux physique de l'énergie :

- « C'est une masse qui produit quelque chose » Cette phrase est ambiguë mais on voit que l'énergie est bien considérée comme une substance qui sert à produire.

8. Autres

- « Pour moi l'énergie éolienne est une réserve inépuisable. Le nucléaire est lui aussi inépuisable, mais lui pollue plus. »

On remarque ici la notion de source qui est sous-jacente dans l'idée que l'élève a de l'énergie.

D'autres élèves ont répondu, mais il n'y avait aucun lien avec les conceptions possibles :

- « L'énergie et de la science » : c'est quelque chose de très vaste associé à la science.
- « vélo, loto, toto, téo »

II.3.3) Hypothèses des élèves concernant l'expérience avec le bol et la bille

Résultats de l'évaluation diagnostic concernant l'expérience de la bille :

38 élèves ont effectué cette évaluation diagnostic.

a) sans frottements :

- 20 réponses non exploitables ou absentes.
- 14 élèves ont répondu que la bille arrivait de l'autre côté de la surface incurvée à la même hauteur que la position de départ.
- 3 élèves pensaient que la bille allaient au-delà de la hauteur du support.
- 4 élèves ont répondu que la bille arrivait à une hauteur inférieure de la position initiale.

b) avec frottements

- 20 réponses non exploitables ou absentes.
- 16 pensaient que la hauteur serait inférieure à la hauteur de départ et à la hauteur spécifiée dans la question a).

- 1 élève pensait que la hauteur serait inférieure à celle dans a) mais inférieure à la position de départ.
- 1 élève pensait que la bille allait au-delà de celle dans le cas a).

Nous pouvons dire que cette question n'était soit pas claire, soit trop difficile pour les élèves puisque environ la moitié des élèves n'ont pas répondu ou ont fait une réponse qui relevait seulement du contrat didactique entre l'élève et l'enseignant. Par exemple la plupart des enfants dans ce cas ont dessiné une bille sur le schéma sans aucunement distinguer les deux cas proposés. Nous pouvons remettre en cause la clarté de la question pour en faire un réel élément d'analyse, ainsi que le déroulement de cette évaluation faite en notre absence dans un délai succinct.

Concernant les élèves ayant réellement répondu, nous pouvons affirmer que la plupart ont eu un raisonnement intuitif juste puisque 14 élèves sur 21 dans le cas a), et 16 sur 18 dans le cas b), ont répondu correctement et de manière claire. Cet élément est positif puisque cette intuition va dans les sens des apprentissages de la conservation de l'énergie dans le cas a) et de sa dissipation dans le cas b). Il faut pourtant prendre nos précautions quant à cette observation au vue du caractère bancal de ce test. De plus, cette intuition semble être en contradiction avec ce qu'en disent les chercheurs de l'INRP puisqu'ils écrivent que « cette idée abstraite de conservation n'est pas intuitive » malgré que « les lois de conservation de l'énergie sont étonnantes de simplicité » (Colomb, 1985, p.20).

Ces résultats seront intéressants à comparer avec la question portant sur cette même expérience dans l'évaluation.

II.3.4) Conceptions des élèves concernant l'énergie potentielle

Résultats du questionnaire pronostic sur l'influence de la hauteur de l'eau et de sa quantité pour soulever l'objet :

- Pour le groupe A (19 élèves) :

Réponses	Grande quantité d'eau et le plus haut possible	Grande quantité d'eau et peu importe la hauteur	Grande quantité d'eau et le plus bas possible	Petite quantité d'eau et le plus bas possible	Incohérent
Nb d'élèves	5	4	5	1	4

Commentaires des élèves :

- « Il faut qu'il (le moulin) soit mis plus d'énergie pour faire monter l'objet qu'il va en dépenser car « rien ne se perd rien ne se transforme »
- « Il faut verser l'eau assez fort »

- Pour le groupe B (19 élèves)

Réponses	Grande quantité d'eau et le plus haut possible	Grande quantité d'eau et peu importe la hauteur	Grande quantité d'eau et le plus bas possible	Petite quantité d'eau et le plus haut possible	Peu importe la quantité d'eau et le plus haut possible	Incohérent
Nb d'élèves	12	3	1	1	1	1

Commentaire d'un élève :

- « Le poids de l'objet »

Remarques sur les conceptions des élèves :

A partir de ces deux tableaux, nous voyons que pour 30 élèves sur 38, une grande quantité d'eau permet de mieux faire remonter l'objet. Par contre, pour ce qui est de l'influence de la hauteur, il n'y en a que 17 sur 38 qui pensent qu'il faut une hauteur importante. Nous pouvons dire que la quantité semble, pour les élèves, plus évidente à lier avec une certaine quantité d'énergie (énergie potentielle de l'eau) nécessaire pour remonter l'objet. A contrario le lien avec la hauteur est peut-être plus abstrait et il faudra donc accentuer ce point au risque de mener vers une incompréhension des élèves envers l'énergie potentielle.

Nous devons également relevé l'écart entre les résultats du groupe A et ceux du groupe B concernant l'influence de la hauteur. Il faut souligner le fait que les élèves du groupe A et B n'ayant pas eu la séance le même jour, il est possible que les élèves du groupe A aient communiqué les résultats de l'expérience au groupe B.

II.3.5) Conceptions concernant l'isolation thermique (la laine chauffe-t-elle ?)

Lors de la séance qui nous aurait permis de relever les hypothèses des élèves sur la question de l'isolation thermique, à partir de l'expérience mettant en scène un glaçon dans une assiette et un autre entouré de laine, nous n'avons pu être présent. C'est donc l'enseignante que nous remplaçons qui s'en est occupée, et elle a malheureusement eu un problème technique rendant impossible l'expérience. La question a tout de même été posée à l'oral et, d'après ses dires, les élèves, en grande partie, pensaient que la laine ne chauffait pas. Ils auraient fait cette expérience en CE2 ou CM1. Nous ne pouvons donc pas interpréter ces résultats.

III) Des pistes pour l'enseignement de l'énergie

En introduction de cette partie, il nous semble important de faire le point sur le cadre lexical qui doit être posé dans le domaine disciplinaire des sciences, particulièrement dans les choix d'enseignement de l'énergie auquel nous nous intéressons. Effectivement, nous l'avons dit, le terme d'énergie se retrouve de plus en plus utilisé dans la société mais souvent de manière vague, voire fausse, alimentant des conceptions erronées. Comme le dit Colomb,

Nous n'avons certes pas de pouvoir de changer les habitudes de langage mais l'élève doit être systématiquement formé à référer l'emploi d'un terme au champ disciplinaire correspondant. Ainsi dans l'expression « consommation d'énergie », y a-t-il généralement confusion entre énergie et source d'énergie. (1985, p.53).

Nous ajoutons même que cette expression nourrit l'idée que l'énergie disparaît et alimente le caractère contre-intuitif de la conservation de l'énergie. Nous veillerons donc, quelque soit la piste d'enseignement exploitée à user d'un vocabulaire le plus scientifique possible même si, dans le cadre de l'apprentissage complexe de l'énergie chez de jeunes élèves, la vulgarisation reste essentielle pour sauver la compréhension du concept même. Pour autant, le vocabulaire vulgarisé ne peut servir que d'intermédiaire à l'acquisition d'un lexique scientifique.

III.1) Les pistes d'enseignement des chercheurs

De nombreuses recherches en didactique de l'énergie semblent avoir été menées dans les années 1980. Même si ces études concernent majoritairement des élèves du secondaire, ou encore des étudiants, il paraît pertinent de prendre connaissance de ces stratégies pour se servir de leurs conclusions, les limites de la méthode, les points communs entre les diverses stratégies employées.

III.1.1) Dans l'enseignement secondaire

Nous débuterons avec les travaux de Trumper qui s'est plus précisément intéressé aux étudiants. Sa méthode (1993) est basée sur des dialogues en petit groupe pour restructurer leurs concepts. Le travail porte ensuite sur les différentes formes d'énergie et ses manifestations, puis il y a une mise en commun sans bannir leurs représentations.

L'objectif de ce travail est de laisser les étudiants schématiser leurs conceptions puis de les confronter pour pouvoir restructurer, voire éliminer ces conceptions ancrées.

Il semblerait que les représentations du concept de l'énergie 5, 6 et 7 puissent aider les élèves à construire le concept scientifique de l'énergie par eux même. Dans le cadre de cette expérience, 28 étudiants sur 35 ont retenu les aspects centraux du concept de l'énergie en utilisant le vocabulaire adapté.

Cette expérience a été réalisé sur des étudiants, mais il peut être intéressant de se servir de cette proposition pour réaliser une séquence introduite par les conceptions erronées des élèves de cycle 3. Ce test a été approuvé par 17 experts, après avoir effectué quelques modifications mineures.

Le projet de G. Lemeignan et J. Agabra (collection Libres Parcours chez Hachette) a été considéré pour des enfants de collège. Elle consiste à utiliser une analogie monétaire pour considérer les formes d'énergie, courante dans le monde scientifique. Les limites de ce modèle réside dans l'impossibilité d'y inclure l'énergie cinétique. « Cette analogie restreint cependant l'acception du concept puisque, et les auteurs en sont conscients, elle ne permet pas d'inclure l'énergie cinétique qui n'est pas, elle, liée à la structure du système. » pour reprendre les mots de Trellu (1986, p.47). C'est pour cette raison que nous ne retiendrons pas cette analogie dans les pistes que nous proposons.

III.1.2) Dans l'enseignement primaire

Agabra s'est intéressée aux élèves de primaire, dès le CP jusqu'au CM. Son enquête vise à introduire la notion d'énergie à partir de jouets mobiles utilisant différentes sources d'énergie. Elle met en avant le fait que, pour des élèves de CP, il y a « indistinction entre moteur et source d'énergie » (1985, p.104) : la représentation qu'ils ont du moteur englobe celle de source d'énergie. L'expérience est faite avec différentes petites voitures (avec ou sans moteur) et les élèves s'interrogent sur ce qui fait avancer la petite voiture. Lorsque cette dernière ne dispose plus de moteur la notion d'élan apparaît. En demandant à l'élève pourquoi la voiture s'arrête il répond « parce qu'elle n'a plus d'élan ». Selon Agabra il s'agit d'une représentation qui a longtemps était présente dans le monde scientifique, jusqu'au XVIIème siècle :

il faut une force pour créer et entretenir le mouvement. Il ne peut y avoir de mouvement qui dure sans une force appliquée de manière permanente au véhicule et le mouvement dure aussi longtemps que la force. Cette force peut être appliquée de deux façons :

- soit par un agent visible, de manière continue : c'est le cas de la main qui tient la voiture et la fait avancer
- soit par une action concentrée dans le temps mais passagère qui permet de stockée un « capital de force » : c'est le cas où la main lance la voiture.

Cette représentation tient à la fois de la force et de l'énergie. Selon Agabra elle dépendrait davantage de la notion de force « intuitivement construit à partir de la notion d'effort »(1985, p.105). Il

apparaît une nécessité d'amener les élèves vers la notion de transfert, de la main à la voiture, ce qui relie la notion d'élan à celle d'énergie.

Concernant les élèves de CM, la notion d'élan semble dans certains cas proche de l'énergie cinétique (« course avant un saut ») et dans d'autres proche de l'énergie potentielle (« le chat prend son élan au pied du mur pour sauter »).

Il apparaît, toujours selon J. Agabra, que les élèves ont du mal à reconnaître la présence d'énergie (potentielle) dans le cas d'une voiture en haut d'une pente. Dans ses conclusions, cette dernière affirme que « la notion d'énergie potentielle est totalement hors de portée des élèves de cet âge, par suite du lien très fort qu'ils établissent entre énergie et mouvement. » (1985, p.105).

Les travaux de Trellu et Toussaint vont également dans ce sens :

Une bille en haut d'une pente "n'a pas d'énergie" pour l'enfant, elle l'acquiert quand elle descend la pente, d'où l'incompréhension de ce qu'est l'énergie potentielle de gravitation. Comment concevoir qu'elle peut produire un effet dans un corps au repos.

Cette conception sur l'énergie potentielle semble fortement ancrée et représente un obstacle important. Ceci soulève le problème de son franchissement. Nous proposerons ainsi, en réponse à ce problème, de s'interroger sur les différentes entrées possibles permettant aux élèves de franchir cet obstacle. S'il paraît plus intuitif pour les enfants de relier l'énergie au mouvement il sera d'autant plus aisé d'explicitier ce que représente l'énergie cinétique. Selon nous, les deux formes, énergie potentielle et cinétique, sont difficilement séparables et l'apprentissage de l'une peut servir l'apprentissage de l'autre. C'est ce que nous développerons lors de la présentation de notre séquence.

III.2) Les ingrédients nécessaires à la compréhension du principe de conservation de l'énergie

Il nous paraît indispensable d'amener les élèves vers le principe de conservation d'énergie, principe fondamental de ce concept. « Néanmoins, on n'atteindra toute la signification du concept d'énergie qu'en abordant le principe de conservation. » (Trellu, 1986). Même s'il est trop complexe pour servir d'entrée dans les apprentissages, il faudra donc préparer les élèves à son acquisition, au fur et à mesure de la séquence proposée ou dans des enseignements ultérieurs. Nous avons ainsi fait le choix de repérer et d'exploiter les ingrédients inhérents à la notion de conservation d'énergie pour tenter d'approcher au mieux cette notion.

Les grands principes incontournables pour s'approcher du principe de conservation de l'énergie sont

avant tout ceux de conversion, de transfert et de dissipation d'énergie. C'est aussi l'avis de Trellu et Toussaint (1986, p.43) qui disent que :

L'étude des transformations et transferts, après une approche qualitative conduit, lorsqu'on introduit des mesures, à la recherche d'invariants ou à repérer des "pertes". Le physicien reconnaît là une démarche d'élaboration de la conservation.

Pour comprendre ces principes il faut construire la notion de forme d'énergie et donc d'énergie potentielle et cinétique. Tout cela peut paraître ambitieux pour des élèves de cycle 3. Mais il nous semble, qu'après une entrée dans le sujet par les sources d'énergie et ses effets associés, il soit possible de construire, à travers une démarche d'investigation, les autres notions et concepts nécessaires à la compréhension du principe de conservation de l'énergie.

Mais, tout d'abord « pour construire la notion d'énergie, le physicien ne peut éluder le problème de la définition d'un système » (Trellu, 1986, p.53).

Il en va de même pour la question de son enseignement : qu'est-ce qu'un système pour un physicien, et comment le définir pour un élève de l'école élémentaire ? Pour ce faire nous nous appuyerons sur les travaux de Trellu et Toussaint dans l'article *La conservation, un grand principe* faisant eux-mêmes référence à d'autres chercheurs.

Le système d'un point de vue scientifique a été défini en partie I.1). Parmi les trois grands types de systèmes, ouverts, fermés, et isolés, nous retiendrons les systèmes fermés.

Tout d'abord un système fermé peut échanger avec le milieu extérieur de l'énergie, et cet élément est essentiel pour aborder la notion de frottements et donc de dissipation d'énergie ; mais aussi les notions de transfert ou de conversion d'énergie d'un système à un autre ; ce que ne permet pas un système isolé qui n'effectue aucun échange. Notons toutefois qu'un système ne peut être réellement isolé qu'au niveau théorique du fait du principe de dissipation d'énergie : au mieux il peut minimiser au maximum les échanges énergétiques d'un système à un autre (le milieu extérieur pouvant être considéré comme un système). Concernant les systèmes ouverts, il semble peu pertinent de vouloir les utiliser pour illustrer les échanges énergétiques puisque ces derniers peuvent également échanger de la matière. En effet, ceci, d'un point de vue scientifique ne respecterait pas l'isolation des variables nécessaire à toute démarche d'investigation ou rendrait leur exploitation trop difficile pour en tirer des conclusions satisfaisantes (puisque'il faudrait en plus calculer la quantité d'énergie véhiculée par la matière).

Effectivement, si l'on veut tendre vers la compréhension de la conservation de l'énergie, il faut déjà comprendre dans quel système cette énergie est conservée. Il faut aussi comprendre que si, dans un système donné, l'énergie peut « disparaître » de ce système, il n'y a pas pour autant une disparition d'énergie dans un système plus vaste qu'est l'univers, et qui serait donc le seul système

effectivement isolé. Par exemple, dans le cas d'une bille lâchée à une hauteur h , arrivée au sol, la bille a perdu son énergie potentielle de départ, mais cette énergie n'a pas disparu du système univers, elle est conservée dans ce système. C'est cette ambiguïté qu'il est nécessaire d'éclaircir en donnant une définition commune de ce qu'est un système.

Cette notion de système a été source d'erreurs au cours de l'évaluation (question V°)], ce qui nous amène à donner davantage d'importance à sa définition, et ce dès le départ de l'enseignement de l'énergie.

III.3) Des pistes pour enseigner ces ingrédients en cycle 3

III.3.1) Le système

On a vu, avec les définitions données par les scientifiques, que le système était une notion complexe, indispensable pour étudier les échanges énergétiques puisqu'ils s'effectuent toujours d'un système à un autre. Ainsi les élèves seront amenés à réfléchir sur un ou plusieurs systèmes donnés et toujours en lien avec le milieu extérieur. Le système fermé sera celui qui nous permettra de traiter de la réalité et ainsi d'éviter l'abstraction du système isolé. Que ce soit pour les conversions, les transferts d'énergies, les effets associés à l'énergie en lien avec les sources, il est impossible de ne pas se placer dans un système donné. Il apparaît donc indispensable de définir dès le départ la notion de système avec les élèves avec une définition générale. Ce vocabulaire peut être défini de la manière suivante : objet ou ensemble d'objets pouvant interagir avec l'environnement. A ce stade de l'enseignement on ne parle pas encore d'échanges d'énergie en faisant référence aux systèmes, car ils ne font pas encore sens pour les élèves. La définition du système sera complétée au fil des apprentissages à travers des exemples concrets. Nous laisserons de côté l'expression complète et plus précise de système fermé, mais c'est bien de ce type de système dont nous parlerons. Les systèmes rencontrés au cours de la séquence seront tous considérés comme des systèmes fermés, par exemple le cycliste et le vélo seront assimilés à un système fermé : sans prendre en compte les échanges de matières avec le monde extérieur (sueur, usure des pneus,...).

III.3.2) Les sources d'énergie et les effets associés à l'énergie

Il est nécessaire pour les élèves d'avoir déjà quelques notions pour ensuite approcher le concept. Nous proposons d'entrer par les sources d'énergie et ce que l'on peut en faire : du mouvement, s'éclairer, chauffer, produire de l'électricité (qui permet aussi de chauffer, d'éclairer ou

de réaliser des mouvements).

Après avoir introduit les sources d'énergie, il demeure primordial de distinguer les sources renouvelables et fossiles. D'une part, dans un souci de formation du citoyen et de sensibilisation aux « problèmes énergétiques de son temps » (M. Colomb, 1985, p. 21), d'une autre car cela met en avant le rôle central qu'occupe le soleil en ce qui concerne les sources d'énergie. Pour comprendre cette notion de renouvelable il est important de s'appuyer sur ce que savent les enfants, comme le cycle de l'eau, pour ensuite le transposer sur d'autres sources.

III.3.3) Énergie potentielle et énergie cinétique

Ces deux formes d'énergie sont indispensables pour construire le concept de conservation, et notamment les notions de conversion et de transfert d'énergie. Comme pour toutes activités de sciences, la manipulation et l'expérimentation sont nécessaires pour s'approprier des connaissances, d'autant plus qu'il s'agit d'un concept très difficile d'accès. C'est ce que défend Colomb : « il y a toute la question fondamentale de l'aspect expérimental et des manipulations, d'autant plus nécessaires que le concept est difficile. » (1985, p.23).

Pour que les termes d'énergie potentielle et d'énergie cinétique fassent sens chez les élèves nous avons donc choisi de les introduire à travers une situation d'apprentissage référence (voir séances 2 et 3) avec une démarche scientifique :

- Présentation du dispositif moulin-objet (voir IV.2.2)), les élèves doivent trouver des sources d'énergie que l'on peut utiliser pour le faire fonctionner. L'eau, comme source d'énergie permettra facilement d'illustrer l'énergie potentielle et l'énergie cinétique.
- Un problème est posé aux élèves pour les impliquer dans la démarche d'investigation : « qu'est-ce qui permet à l'objet de remonter le plus haut possible ». Si, pour la plupart des élèves, la masse semble jouer un rôle primordial, beaucoup d'entre eux pensent, avant l'expérience, que la hauteur ne joue pas ce même rôle. (Voir le tableau hypothèses des élèves p.20-21).
- Puis l'élève doit imaginé une expérience, à partir du dispositif moulin-objet, permettant de tester ses hypothèses.
- Phase d'expérimentation : utilisation d'une masse d'eau plus ou moins importante, lâchée d'une hauteur plus ou moins importante.
- Les conclusions de l'expérience permettent de voir l'influence de la masse, mais aussi de la hauteur. Ici c'est donc l'occasion d'introduire le vocabulaire et les définitions d'énergie

potentielle et d'énergie cinétique. L'approche constructiviste ici proposée n'ambitionne pas que les élèves reconstruisent d'eux-mêmes les concepts qui ont été élaborés par les scientifiques sur une longue période. (voir I.2)) Il est important d'introduire un nouveau vocabulaire scientifique au moment où les élèves en ont besoin pour formaliser le phénomène observé. Les élèves, à ce moment de leur réflexion ont compris que la masse de l'eau et sa hauteur avaient une influence sur la remontée de l'objet. Ce moment paraît donc opportun pour introduire un vocabulaire scientifique qui fera sens pour eux puisqu'ils n'ont pas les mots pour décrire ce nouveau phénomène. Nous avons ainsi présenté l'énergie potentielle et cinétique de la manière suivante :

- L'énergie potentielle comme la capacité qu'a l'eau à faire tourner le moulin : du mouvement (et donc de l'Ec). Cette énergie dépend de la masse de l'eau et de sa hauteur.
- L'énergie cinétique comme énergie de mouvement : quand quelque chose (qui a une masse) se déplace (qui a une vitesse), elle dispose d'énergie cinétique.

Puis cela met en avant la notion de conversion : l'énergie potentielle d'un corps en hauteur, se transforme en énergie cinétique lorsque ce dernier chute. Il est pertinent d'illustrer cela avec autre chose que l'eau qui tombe : une bille, une personne qui saute d'un plongeur,... et de comprendre que plus le corps est placé en hauteur plus il arrivera vite et fort. À ce stade on n'explique pas encore le transfert progressif d'Ep en Ec, on distingue surtout les moments où l'objet a uniquement de l'Ep de ceux où ils possèdent aussi de l'Ec. Si cette simplification apparaît nécessaire pour commencer à distinguer ces deux formes d'énergies il sera ensuite important de faire comprendre que tant que l'objet est encore en hauteur, il possède de l'Ep : ceci sera fait avec l'expérience bol-bille.

III.3.4) Conversion, Transfert et Dissipation

A travers une chaîne énergétique :

L'expérience réalisée par les élèves est réinvestie pour construire une chaîne énergétique (voir S3). Pour chaque phase de l'expérience les élèves doivent s'interroger sur la forme d'énergie en jeu dans un système donné : le moulin, l'objet, l'eau. Ce dispositif nous permet d'expliquer ce qu'est :

- une conversion d'énergie : l'énergie potentielle de l'eau convertie en énergie cinétique lorsqu'on la verse. ($E_p \text{ eau} \rightarrow E_c \text{ eau}$)
- un transfert d'énergie : l'énergie cinétique de l'eau transférée au moulin. ($E_c \text{ eau} \rightarrow E_c \text{ moulin}$)

Nous avons choisi de directement parler de la dissipation d'énergie sous forme thermique afin de ne pas induire chez les élèves l'idée d'une disparition de l'énergie au cours des processus. En ce sens nous avons choisi d'éviter les termes comme pertes d'énergie, même s'il aurait été possible de l'utiliser mais en explicitant clairement qu'il n'y a pas de disparition. Il ne faut pas oublier que c'est un terme largement utilisé dans le monde scientifique et dans les médias, et donc que les élèves seront amenés à le rencontrer. Ainsi, il serait pertinent de ne pas éviter le problème en évinçant le terme de perte, mais plutôt de prendre en compte l'intégralité du vocabulaire (perte, dissipation, dégradation). Ceci pour éviter toutes confusions futures, notamment du fait que d'autres enseignants durant les études secondaires emploieront tel ou tel terme. Mais pour une première approche, il paraît difficile d'aborder les trois termes dans le même temps. Nous avons donc fait le choix d'employer le terme de dissipation d'énergie sous forme thermique, énergie thermique que l'on appelle chaleur dans le langage courant. Nous n'emploierons pas le terme d'énergie cinétique moléculaire, bien que pour des élèves plus âgés cela pourrait aider à la compréhension, dans le sens où il s'agit aussi d'énergie cinétique. Pour illustrer cela, il nous a semblé pertinent de demander aux élèves de se frotter vigoureusement les mains et de dire ce qu'ils ressentaient. Les élèves se rendent compte que « cela chauffe », et cela met en avant le fait que l'énergie cinétique se transforme en énergie thermique. Et cette énergie cinétique provient de l'énergie du corps humain : de l'énergie chimique. A ce stade il peut être préférable d'employer le terme d'énergie musculaire pour ne pas multiplier le vocabulaire scientifique. Afin de comprendre que cette dissipation existe pour tout transfert ou toute conversion il faut multiplier des exemples pouvant faire sens chez les enfants. En faisant des liens ils sont capables d'en trouver de nombreux sans l'aide du PE :

- Les élèves ayant travaillé sur la matérialité de l'air, l'exemple des fusées pénétrant à grande vitesse dans l'atmosphère permet aussi d'illustrer la conversion d'énergie cinétique en énergie thermique, mais a également l'avantage d'introduire les frottements avec l'air.
- Reparler des frottements de la bille au cours de l'expérience proposée sur le questionnaire diagnostique avant la première séance. Mais aussi des frottements de la bille avec l'air.
- Plus on est nombreux dans une pièce et plus il fait chaud → Le corps humain dégage de la chaleur, on a besoin d'énergie chimique pour vivre, une partie est convertie en énergie thermique ; lorsque l'on court on a chaud ($E_c \rightarrow E_{th}$).
- Les appareils électroménagers qui chauffent alors qu'ils ne sont pas prévus pour cela,...

A réinvestir avec les séances de production d'électricité :

Conversions et dissipation d'énergie à travers des chaînes énergétiques sont à réinvestir pour tous les types de centrales : hydroélectriques, thermiques, nucléaires, éoliennes,... Toujours en raison de la bonne compréhension d'un concept abstrait il est impératif de concrétiser aux maximum ces conversions, transferts et dissipations par des expériences et modélisations :

- une lampe dynamo,
- une mini-éolienne,
- le lien entre une éolienne et l'expérience du moulin pour comprendre le fonctionnement d'une centrale hydraulique,
- une centrale thermique réalisée avec une cocote-minute et la mini-éolienne jouant le rôle de turbine et alternateur. Cette dernière modélisation met aussi en avant la dissipation d'énergie thermique importante chez ce type de centrale, puisque les élèves peuvent sentir la forte température du nuage formé au niveau de la soupape.

Le vocabulaire courant associant source et forme d'énergie n'est pas propice à la compréhension de ce qu'est une forme d'énergie. Ainsi, se contenter du lexique courant, comme énergie hydraulique ou énergie éolienne, risque d'éloigner les élèves d'une bonne compréhension. Avoir compris ce qu'était de l'énergie potentielle et cinétique permet de mettre quelque chose de concret derrière les mots hydraulique et éolienne. Les élèves d'eux-même ont répondu « donc le vent c'est de l'énergie cinétique », et l'expérience du moulin concrétise l'utilisation de l'énergie potentielle et cinétique de l'eau pour faire tourner la turbine. Ici, c'est aussi l'occasion d'introduire le terme d'énergie chimique, en le définissant comme l'énergie que possède toute matière qui est, ou a été un jour vivante.

Enfin, il faut illustrer le fait que l'énergie thermique dissipée reste dans l'environnement, mais que l'on ne peut plus l'utiliser. Expliquer qu'elle augmente légèrement la température, même si cela n'a rien de comparable à l'augmentation de la température due à l'effet de serre amplifié par les émissions de gaz comme le CO₂ par les centrales, les voitures,... Si les élèves avaient travaillé sur l'effet de serre, il aurait été intéressant de faire le lien avec l'énergie rayonnante des infrarouges se convertissant en énergie thermique. Le rayonnement infrarouge étant bloqué dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre, cela augmente la température de la planète. L'effet de serre n'est pas au programme de l'élémentaire, mais l'idée peut être conservée pour des élèves de collège.

III.3.5) Vers la conservation

Après avoir compris la dissipation thermique, due aux frottements avec l'air et avec le support, l'expérience du bol avec la bille met en évidence que cette dernière ne peut osciller indéfiniment à cause de ces frottements. Une expérience avec le pendule illustrerait davantage les frottements avec l'air et la « perte » progressive d'énergie potentielle (puisque la hauteur diminue) et d'énergie cinétique (puisque la vitesse diminue). Mais l'on s'approche du fait que si il n'y avait pas de frottements, la bille oscillerait indéfiniment, illustrant ainsi la conservation de l'énergie. Malgré tout, l'expérience qui la démontrerait est irréalisable en classe et les élèves doivent donc faire preuve d'une grande abstraction pour atteindre pleinement cette idée. Dans le cas de l'expérience de la bille, un élève peut très bien comprendre les phénomènes de conversions d'énergie et le fait que la bille s'arrête sans pour autant prendre en compte une quelconque idée de conservation, mais au contraire, en l'expliquant par une idée de pertes, assimilée à une disparition de l'énergie. Toutefois, si les élèves comprenaient qu'en l'absence de frottements, c'est à dire dans le vide, la bille oscille indéfiniment, alors ces derniers pourraient comprendre plus rigoureusement l'expérience réalisée. Ils en comprendraient les différentes étapes : l'énergie potentielle fournie à la bille, ou le pendule, s'est convertie alternativement en énergie cinétique puis en énergie potentielle, et à chaque conversion une petite partie s'est dissipée sous forme thermique. Et lorsque l'objet n'a plus ni énergie potentielle ni énergie cinétique, c'est que la quantité d'énergie potentielle transmise à la bille s'est intégralement convertie en énergie thermique.

Enfin, c'est en comprenant que l'énergie est une grandeur physique mesurable, permettant de prévoir les phénomènes que l'on pourra comprendre sa conservation. Ce passage nécessite une nouvelle abstraction, l'énergie dispose d'une même unité, associée à cette grandeur, quelque soit sa forme : le Joules. On peut calculer l'énergie potentielle et cinétique avec des formules. Ces formules sont des outils pertinents pour mieux comprendre d'une part le sens de l'énergie potentielle et cinétique. Par exemple lorsque la bille, dans le système « bol » est au plus bas, lorsque sa hauteur est nulle, on retrouve aisément avec la formule $E_p = mgh$ le fait que cette énergie est nulle ($E_p = mg \times 0$). D'autre part ces formules offrent un pouvoir de prédiction des phénomènes : temps d'oscillation, vitesse de l'objet au cours d'une chute libre,... Ceci fait le lien avec la recherche de rendements de plus en plus performants pour les diverses applications technologiques. Malheureusement, l'utilisation de ces formules semble très difficile avec des élèves de CM2 ne disposant pas du niveau mathématique nécessaire.

IV) Proposition de séquence

IV.1) Les textes officiels

Extrait du BO 2008 dans la partie culture scientifique et technologique (cycle 3) :

<p>L'énergie</p> <p>Exemples simples de sources d'énergies (fossiles ou renouvelables).</p> <p>Besoins en énergie, consommation et économie d'énergie.</p>

Extrait du B.O. du 5 janvier 2012 :

CE2	CM1	CM2
<p>Exemples simples de sources d'énergie</p> <ul style="list-style-type: none">- Identifier diverses sources d'énergie utilisées dans le cadre de l'école ou à proximité.- Savoir que l'utilisation d'une source d'énergie est nécessaire pour chauffer, éclairer, mettre en mouvement.- Utiliser un dispositif permettant de mettre en évidence la transformation de l'énergie. <p>Vocabulaire : source d'énergie, électricité, chaleur, mouvement, consommation, transport, transformation.</p> <p>▲ Les objets techniques</p>	<p>Exemples simples de sources d'énergie</p> <ul style="list-style-type: none">- Connaître différentes énergies, leur source et savoir que certaines sont épuisables.- Classer les énergies selon qu'elles soient ou non renouvelables.- Identifier la conversion d'énergie dans une centrale électrique.- Connaître les différents modes de production et de transformation d'énergie électrique en France.- Connaître des exemples de transport de l'énergie sur les lieux de consommation. <p>Vocabulaire : énergie fossile, renouvelable, uranium, charbon, pétrole, gaz, hydraulique, éolienne, solaire, nucléaire, thermique, géothermique, conduite, ligne électrique, centrale.</p> <p>▲ Environnement et développement durable - Comprendre l'impact de l'activité humaine sur l'environnement.</p>	<p>Besoins en énergie, consommation et économies d'énergie</p> <ul style="list-style-type: none">- Comprendre la notion d'isolation thermique.- Comprendre et mettre en œuvre des gestes citoyens pour faire des économies d'énergie dans les situations de la vie quotidienne (à la maison, dans les transports...). <p>Vocabulaire : économie d'énergie, isolation, matériau isolant.</p> <p>▲ Environnement et développement durable - Comprendre l'impact de l'activité humaine sur l'environnement.</p>

Alors même que nous étions dans l'élaboration de notre projet, les nouveaux BO de 2012 ci-dessus, en complément à ceux de 2008, ont été publiés. Il est intéressant de remarquer que les programmes officiels proposent une progression sur tout le cycle 3. Cette proposition va dans le sens de ce que nous pensons. Effectivement, le concept d'énergie apparaît trop complexe pour n'être abordé que d'un seul bloc. Les élèves ont besoin de temps pour se familiariser avec les notions qui l'entourent. Les contraintes de temps peuvent mener vers des choix de simplification de notions des plus

complexes, et ce faisant, alimenter, voire générer, des conceptions erronées qui feront barrière par la suite. C'est une question que nous nous sommes posés lors de l'élaboration et la mise en place de la séquence qui suit.

Toutefois, une progression comme celle-ci a également l'avantage de permettre l'interdisciplinarité puisque le vocabulaire pourra être exploité de nouveau dans beaucoup de domaines scientifiques abordés au cycle 3. L'énergie comme concept central de la physique est un atout majeur que l'on se doit de profiter dans l'enseignement des sciences, notamment à l'école primaire, puisque le champ scientifique à explorer se trouve être très vaste. La séquence que nous proposons connaît ses limites dans son application puisque le nombre d'heures consacré est restreint et qu'il nous est impossible de suivre une classe sur une période de trois ans. Néanmoins, même si l'apprentissage s'en trouve condensé, les notions à aborder ne changeraient pas si l'on avait pu mettre en œuvre une progression plus longue, elles auraient simplement pu faire l'objet de nombreux réinvestissements permettant une meilleure compréhension et des bases plus solides pour comprendre par la suite la conservation de l'énergie. Nous pouvons faire le lien entre les ingrédients que nous avons mis en avant dans la partie III.2) avec les éléments présents dans le BO de 2012. Nous retrouvons certains ingrédients, comme les sources d'énergie et l'illustration de la conversion d'énergie au sein d'une centrale. Cependant certains ingrédients, indispensables selon nous à l'acquisition future du concept d'énergie, sont manquants. Tout d'abord, la dissipation d'énergie sous forme thermique n'est pas mentionnée, bien que la notion soit inhérente à celle d'isolation thermique. De plus, aucune distinction entre sources et formes d'énergie n'est faite. Les programmes parlent pourtant de « connaître différentes énergies », les formes sont seulement sous-entendues et ceci peut mener à une conception erronée de l'énergie en pensant qu'il y a plusieurs énergies distinctes les unes des autres. D'après nous, ce point est très important car il mène vers une substantialisation en associant directement une énergie avec une source, et il permet très difficilement de comprendre que l'énergie a une unité internationale qui peut être la même quelque soit sa forme. Enfin, en accord avec ce qu'en disent les chercheurs, les formes d'énergie cinétique et potentielle ne sont pas présentes. Un dernier point mérite d'être souligné : l'approche faite de l'énergie dans ces nouvelles progressions est avant tout utilitaire. Il ne serait donc pas étonnant que cela mène les élèves à avoir une vision de l'énergie très fonctionnelle : conception n°6 de Trumper. Notons que cette conception fonctionnelle de l'énergie est celle que nous avons majoritairement repéré chez les élèves (voir II.3.2) et qu'une telle progression pourrait renforcer cette conception.

Rappelons toutefois que l'objectif des textes officiels concernant l'enseignement de l'énergie à l'école élémentaire n'est pas une acquisition scientifique du concept, mais une sensibilisation civique (Arcelin, Therras, 2011, p.30), ce qui justifie ces choix institutionnels selon nous.

Notons que notre projet, consistant à donner un apprentissage au plus près de la réalité scientifique, ne va pas à l'encontre du programme puisqu'il lui est fidèle tout en le complexifiant.

IV.2) Proposition d'une séquence pour un niveau CM2

Cette partie propose de mettre à contribution les recherches effectuées jusqu'alors dans le but de vérifier de manière pratique les hypothèses que nous avons formulées, notamment concernant les ingrédients nécessaires et compréhensibles par des élèves de cycle 3. La séquence que nous proposons, fidèle aux programmes, et abordant toutes les notions qui nous paraissent fondamentales, n'a pas l'ambition d'être parfaite mais va nous permettre de vérifier jusqu'à quel point des élèves de CM2 sont capables de comprendre le concept d'énergie. Nous avons fait le choix de montrer le détail des séances réellement mises en place avec deux classes de CM2 à l'école Lamartine pour permettre une bonne compréhension de l'analyse qui suivra. Ces séances sont contraintes par le temps accordé et l'impossibilité de les faire sur une plus longue période. Nous avons tout de même choisi d'aborder l'ensemble des notions envisagées, ce qui nous permettra d'observer les difficultés rencontrées par les élèves ou par l'enseignant lors des explications données sur un sujet plus complexe. Effectivement, nous verrons par la suite que le vocabulaire à adopter lors des séances est un enjeu fort, qui peut mettre en péril la bonne compréhension d'une notion et mener à de mauvaises conceptions. La séquence comporte 5 séances et une évaluation. L'objectif général de la séquence est de donner aux élèves tous les ingrédients pour construire de manière latente le concept de conservation de l'énergie, tout en y liant les aspects civiques. L'ordre d'apprentissage des notions établi est le même que celui décrit partie III.3).

Il nous paraît plus pertinent, dans un cadre de recherche, de présenter la séquence sous forme de temps successifs décrivant ses principales étapes et non pas sous forme de séances d'une heure comme nous les avons effectuées. L'analyse qui suivra en partie V) reprendra ces différents temps :

- Un premier temps est consacré aux sources d'énergie renouvelables et fossiles ainsi qu'aux différents effets provoqués par l'utilisation de l'énergie en y intégrant la notion de système. Suivant notre idée, nous avons fait le choix de débiter la séance en partant des conceptions des élèves.
- Un deuxième temps place les élèves dans une démarche d'investigation en réalisant une expérience qui met en évidence les caractéristiques de l'énergie potentielle et permet d'aborder l'énergie cinétique. Elle servira également de référence pour toute la suite de la

séquence.

- Le troisième temps consiste en la réalisation d'une chaîne énergétique à partir de l'expérience effectuée à partir des deux formes principales d'énergies (énergie potentielle et énergie cinétique) et d'aborder les notions de transfert, conversion et dissipation. Une première définition des formes d'énergie est donnée aux élèves.
- Le quatrième temps réinvestit les notions abordées en s'intéressant aux conversions d'énergie dans les différents types de centrales. De plus cela permet de définir plus précisément ce qu'est une forme d'énergie en s'appuyant sur les connaissances construites avec l'énergie potentielle et cinétique. Il s'agit ici d'expliquer de manière scientifique du vocabulaire courant comme énergie hydraulique ou éolienne.
- Le cinquième temps est un retour sur le questionnaire diagnostique avec l'expérience de la bille et de la surface incurvée. Ceci nous amène à montrer la conversion progressive d'énergie potentielle en énergie cinétique et inversement, et donc la présence à la fois d'énergie potentielle et cinétique au sein d'un même système. Cette expérience permet aussi d'illustrer la notion de dissipation d'énergie pour conclure de manière sous-jacente à la conservation de l'énergie.
- Le sixième temps est consacré à l'isolation thermique et aux économies d'énergie. Ceci permet de réinvestir des connaissances scientifiques à travers des situations connues des élèves. C'est aussi un temps de formation civique.

IV.2.1) Les sources d'énergie renouvelables et fossiles

Compétences visées :

- être capable d'identifier diverses sources d'énergie,
- savoir que l'utilisation d'une source d'énergie est nécessaire pour chauffer, éclairer, mettre en mouvement,
- être capable de classer les sources d'énergie selon qu'elles soient ou non renouvelables.

Recueil des conceptions au tableau et discussion

Après le questionnaire diagnostique fait avant la première séance, l'enseignant regroupe les différentes conceptions au tableau de la manière suivante :



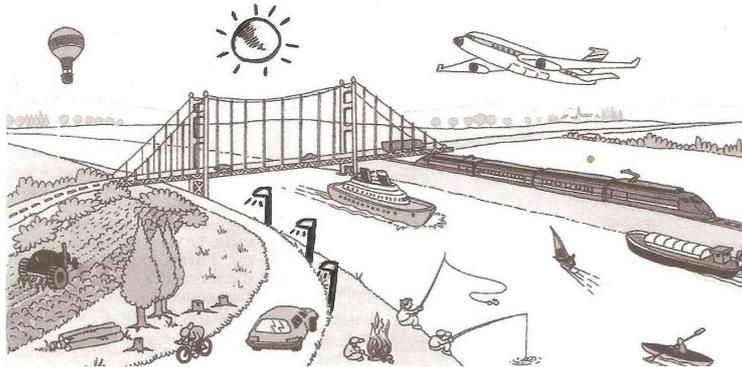
A partir de ces conceptions l'enseignant fait émerger la nécessité d'une source d'énergie pour effectuer une action (mouvement, éclairage, chauffage, faire fonctionner un appareil) :

- pétrole → voiture → déplacement
- soleil → végétaux/animaux = nourriture → homme → actions (cette chaîne peut être élaborée à partir des expressions « j'ai de l'énergie aujourd'hui »)
- électricité → lampe → lumière

Si cette chaîne est mise en avant, demander aux élèves d'où vient l'électricité afin de mettre en avant le fait que l'électricité n'est pas une source d'énergie.

Étude de document :

- Distribution de l'image suivante :



- Individuellement les élèves repèrent les différents effets, actions provoqués par l'utilisation de l'énergie : effectuer un mouvement, se chauffer, s'éclairer et si possible les rassemblent en trois catégories.

Mise en commun au tableau : mise en évidence des trois catégories.

- Distribution du tableau suivant (sans les réponses évidemment) à remplir en binôme. Explication du vocabulaire utilisé, accent à porter sur la notion de système : « Corps (objet ou personne) ou ensemble de corps, qui peut agir avec l'environnement ». Donner des exemples de systèmes : le cycliste et le vélo, l'avion, le Soleil, le système solaire,...

Effet/action	Système	Correction Système	Source d'énergie	Correction Source d'énergie
Effectuer un mouvement	Montgolfière		Gaz	
	Train		« Électricité » Attention !	
	Voiture		pétrole	
	Camion		pétrole	
	Tracteur		pétrole	
	Avion		pétrole	
	Bateau		pétrole	
	Voilier		vent	
	Kayak + personne		muscles	
	Vélo + personne		muscles	
	Personne + canne à pêche		muscles	
Se chauffer	Feu		bois	
	Soleil		soleil	
	Moyens de locomotion		pétrole (« électricité »)	
S'éclairer	Soleil		Soleil	
	Lampadaire		« Électricité » Attention !	
	Phares		pétrole (« électricité »)	
	Feu		bois	

Ici, on remarque une difficulté puisque l'électricité n'est pas une source d'énergie mais se trouve être présente dans la colonne « source d'énergie ». Nous avons placé des guillemets car il faut expliquer à ce moment là que l'électricité ne sert que d'intermédiaire à la source d'énergie qui n'est pas connue avec cette image, la source d'énergie pouvant être multiple.

- Mise en commun au tableau.

Sources d'énergie renouvelables et fossiles

On interroge les élèves concernant les sources d'énergie que l'on note au tableau.

On introduit le vocabulaire renouvelable et fossile, on demande aux élèves de l'expliquer, puis on se met d'accord sur la définition.

Réalisation du tableau suivant des sources d'énergie renouvelables et fossiles sur le cahier de sciences.

Sources d'énergie	Renouvelable	Fossile (= non renouvelable)
Soleil	x	
Vent	x	
Eau	x	
Terre	x	
Matière végétale et animale (Nourriture, bois)	x	
Organismes vivants	x	
Pétrole		x
Gaz		x
Charbon		x
Uranium (combustible nucléaire)		x

Institutionnalisation

Il existe des **sources d'énergie renouvelables** qui se reconstituent à l'échelle du temps d'une vie humaine :

- Soleil
- Vent
- Eau
- Terre
- Matière végétale et animale

Il existe des **sources d'énergie fossiles (ou non renouvelables)** : leurs stocks sont épuisables à l'échelle du temps d'une vie humaine car il faut des milliers voire des millions d'années pour qu'ils se reconstituent :

- Pétrole
- Gaz
- Charbon
- Combustibles nucléaires (comme l'Uranium)

Ces **sources d'énergies sont indispensables** pour :

- effectuer un mouvement, se déplacer
- s'éclairer
- se chauffer
- produire de l'électricité pour utiliser des appareils, pour communiquer,...

IV.2.2) Expérience du moulin : énergie potentielle et cinétique

Compétences visées :

- être capable de répondre à un questionnement au travers d'une démarche d'investigation,
- comprendre l'influence de la masse et de la hauteur sur l'énergie potentielle d'un corps.

travail en groupe : 4 groupes de 5 élèves

matériel :

- 4 moulins
- 4 petits paniers avec un « boulard » ou « boulet » à l'intérieur (une grosse bille)
- 2 tréteaux avec un support pour l'axe du moulin
- 4 tuyaux-entonnoirs (2 grands et 2 petits)
- 4 verres-doseurs
- 4 grilles pour noter les résultats
- 4 étalons de 10 cm



dispositif moulin-objet



Tuyaux-entonnoirs

But pour les élèves : faire remonter l'objet à soulever le plus haut possible, identifier ce qui influe sur la remontée de l'objet : **hauteur, masse**. Ici, l'expérience se fera uniquement avec de l'eau mais nous illustrerons également le fonctionnement du système avec le vent.

Ils pourront éventuellement s'apercevoir que plus l'objet est en hauteur et plus il est difficile de le soulever car il dispose davantage d'énergie potentielle.

L'influence de la masse de l'objet à soulever ne fait pas partie des éléments à inscrire dans

leur grille d'observation mais nous leur proposerons en fin de manipulation une masse plus importante.

Déroulement :

- a) Demander aux élèves à partir de quelles sources d'énergie nous pouvons faire remonter l'objet du panier grâce au moulin.
- b) Explication du fonctionnement, et démonstration.
- c) Distribution du Vrai-Faux à remplir.

<u>Pour que l'objet remonte le plus haut possible :</u>		Nom :
		Prénom :
	VRAI	FAUX
Il faut une grande quantité d'eau		
Il faut une petite quantité d'eau		
Peu importe la quantité d'eau		
Il faut verser l'eau le plus haut possible		
Il faut verser l'eau le plus bas possible		
Peu importe la hauteur		
Autres paramètres :		
.....		
.....		

- d) Leur demander à l'oral quelle expérience on pourrait faire pour répondre à cette question.
- e) Distribution de la grille d'observation suivante et explication de l'expérience.
- f) Mise en place des groupes, tests préliminaires du fonctionnement du moulin puis début de l'expérience.

	Hauteur maximale de l'objet soulevé	
	Essai 1	Essai 2
Tuyau court (25 cm) et 25 cl. d'eau (=250 g)		
Tuyau court (25 cm) et 50 cl. d'eau (=500 g)		
Tuyau long (70 cm) et 25 cl. d'eau (=250 g)		
Tuyau long (70 cm) et 50 cl. d'eau (=500 g)		

Mise en commun des résultats en classe

Distribution de leurs hypothèses (vrai-faux).

Distribution des tableaux de l'expérience à remplir comme suit : résultats classe et moyennes

Matériel	Hauteur maximale de l'objet soulevé				Moyenne générale
	Groupe A		Groupe B		
	Résultats	Moyenne	Résultats	Moyenne	
Tuyau court (25 cm) et 25 cL d'eau (250 g)	1,25/2,5/3/1,5	2	2/2,5/2,5/4/3/ 3,5/2	2,75	<u>2,52</u>
Tuyau court (25 cm) et 50 cL d'eau (500 g)	2,5/3,5/2/4/	3	1,25/3,5/5,25/ 3,5/3,5/4/5	3,75	<u>3,45</u>
Tuyau long (70 cm) et 25 cL d'eau (250 g)	3,25/2,5/4/1/6 /2,5	3,25	3,5/4/4,5/1,5/6	3,9	<u>3,52</u>
Tuyau long (70 cm) et 50 cL d'eau (500 g)	6/6/4/4,5/6/5	5,25	6/4,5/6/6/6/4,5	5,5	<u>5,38</u>

Conclusion sur l'expérience :

« L'objet monte plus haut avec un long tuyau, donc une grande hauteur, et avec une quantité d'eau importante, donc une grande masse. »

Nous avons ainsi aborder les deux variables constituantes de l'énergie potentielle.

IV.2.3) La chaîne énergétique de l'expérience du moulin : conversion, transfert, dissipation et formes d'énergie

Compétences visées :

- être capable d'identifier la conversion d'énergie, le transfert d'énergie à partir d'une chaîne énergétique réalisée sur une expérience connue,
- savoir qu'une dissipation d'énergie a lieu lors de tout transfert ou conversion d'énergie.

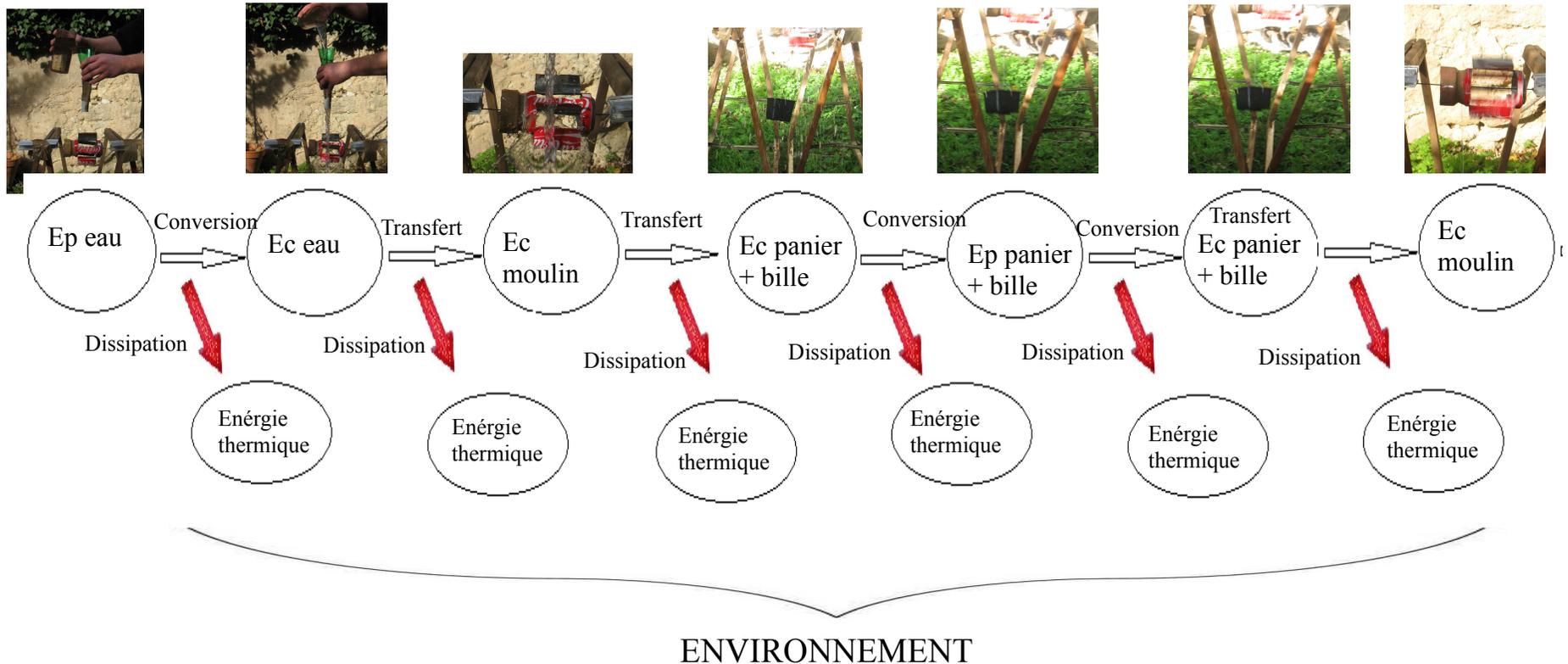
matériel :

- dispositif du moulin pour illustrer la chaîne énergétique

Travail sur la chaîne énergétique

- Explication de l'énergie potentielle et cinétique avec une chaîne récapitulative de l'expérience du moulin accompagnée de photos. La chaîne, page suivante, est complétée en groupe classe avec l'aide du matériel utilisé pendant l'expérience. Les termes de conversions et de transferts sont introduits par l'enseignant.
- Introduction de la notion de dissipation. Demander aux élèves de se frotter les mains, et de dire ce qu'ils ressentent. On illustre ainsi la chaîne suivante :
énergie chimique → énergie cinétique → énergie thermique.

Chaîne énergétique de l'expérience du moulin



Légende :

Ec = énergie cinétique ou de mouvement (liée à la vitesse et à la masse)

Ep = énergie potentielle, proportionnelle à la hauteur et à la masse

Dissipation : lorsque l'on passe d'une forme d'énergie à une autre (ex: **Conversion** de l'énergie potentielle de l'eau en énergie cinétique de l'eau lorsqu'elle est versée) ou lors d'un transfert de la même forme d'énergie (ex: **Transfert** de l'énergie cinétique de l'eau en énergie cinétique du moulin), il y a toujours de l'énergie thermique (=chaleur) qui part dans l'environnement et qui ne peut plus être utilisée par l'homme.

Institutionnalisation

Les formes d'énergie :

L'énergie potentielle de tout corps (objet, liquide, sable,...) dépend de sa masse et de sa hauteur. Plus sa masse est grande et plus il est placé en hauteur, plus son énergie potentielle est importante.

Lorsque ce corps chute cette énergie potentielle se transforme en énergie cinétique = énergie de mouvement.

Dans l'expérience avec le moulin, c'est l'énergie potentielle de l'eau qui permet au moulin de tourner (énergie cinétique).

Lors d'une transformation d'une énergie à une autre, il y a une dissipation d'une partie de cette énergie qui se dissipe sous forme d'énergie thermique (= chaleur).

Dans le langage courant on associe les formes d'énergie à leur source :

- Soleil → énergie solaire ou rayonnante
- Eau → énergie hydraulique
- Vent → énergie éolienne
- Terre → énergie géothermique
- Matière végétale et animale, muscle → énergie chimique

A partir de sources d'énergie fossiles :

- Combustibles nucléaires → énergie nucléaire
- Charbon, pétrole, gaz → énergie chimique → énergie thermique (= chaleur)

IV.2.4) Réinvestissement des ingrédients à travers une étude des centrales

Compétences visées :

- Identifier la conversion d'énergie dans une centrale électrique,
- Connaître les différents modes de production et de transformation d'énergie électrique en France,
- Comprendre l'impact de l'activité humaine sur l'environnement.

Matériel :

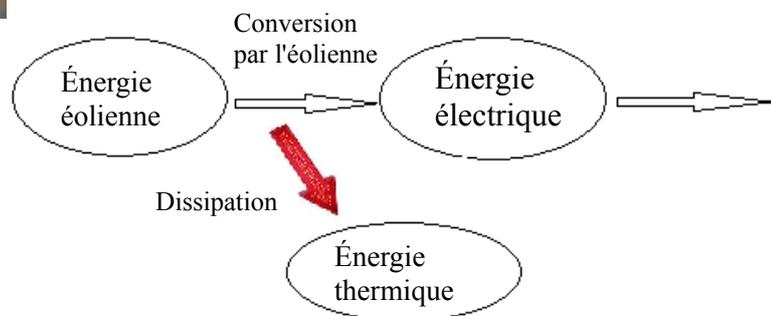
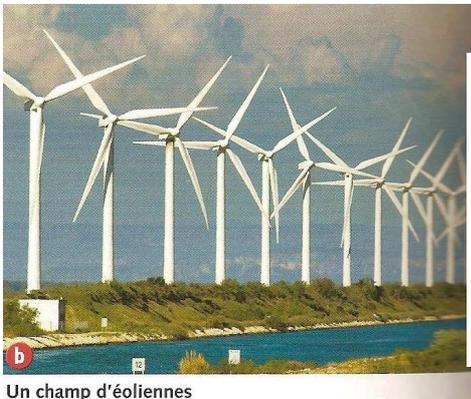
- Petite éolienne alimentant une LED
- Autocuisseur
- Plaque électrique

Présentation de la petite éolienne :

« A partir de quelle source d'énergie peut-on faire tourner l'éolienne ? »

Réponse attendue : le vent. L'enseignant effectue une démonstration.

Une source d'énergie renouvelable : le VENT



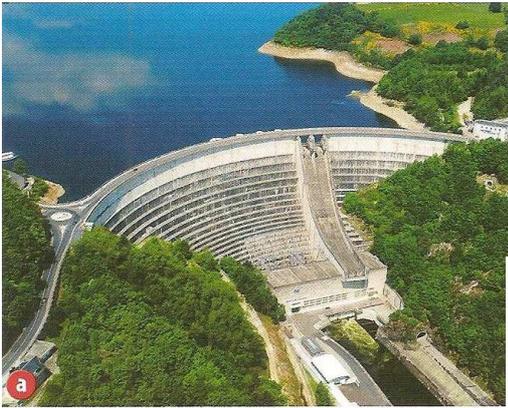
énergie éolienne = énergie électrique + énergie thermique dissipée

L'énergie éolienne est l'énergie du mouvement de l'air (énergie cinétique)

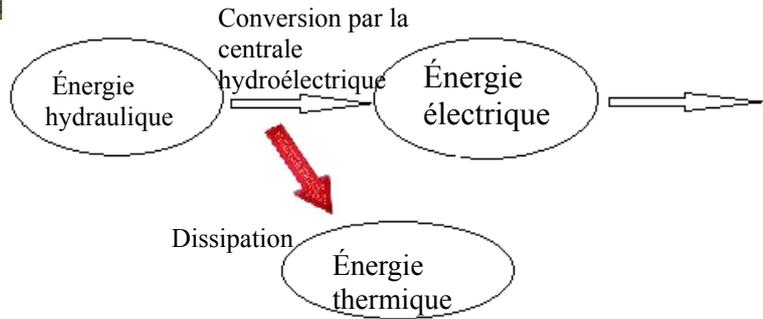
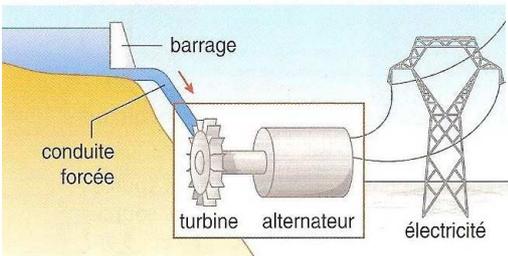
Question posée à l'oral : « Comment faire pour produire de l'électricité avec un réservoir d'eau comme source d'énergie en vous servant de ce que l'on a vu ? »

Distribution du schéma d'une centrale hydraulique et de la chaîne énergétique à compléter.

Une source d'énergie renouvelable : l'EAU



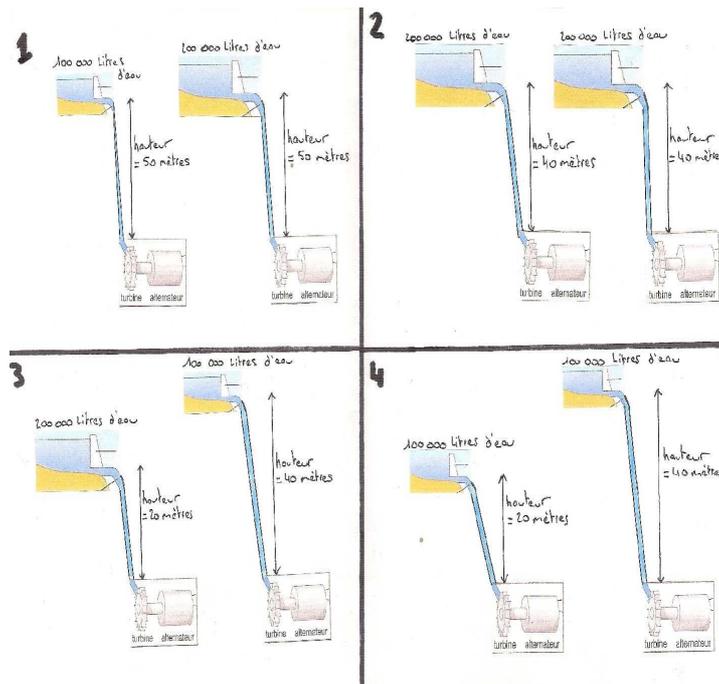
Une centrale hydroélectrique



énergie hydraulique = énergie électrique + énergie thermique dissipée

L'énergie hydraulique est liée à l'énergie potentielle et cinétique de l'eau

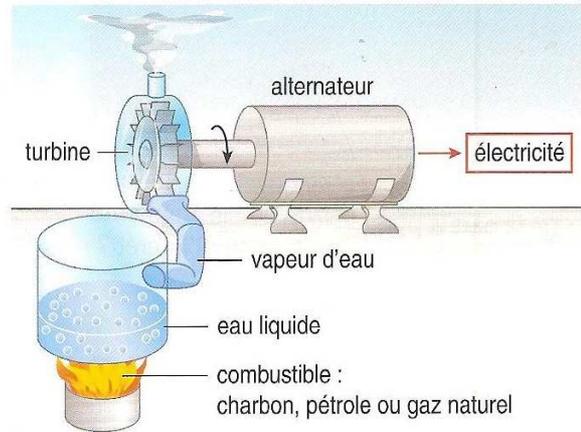
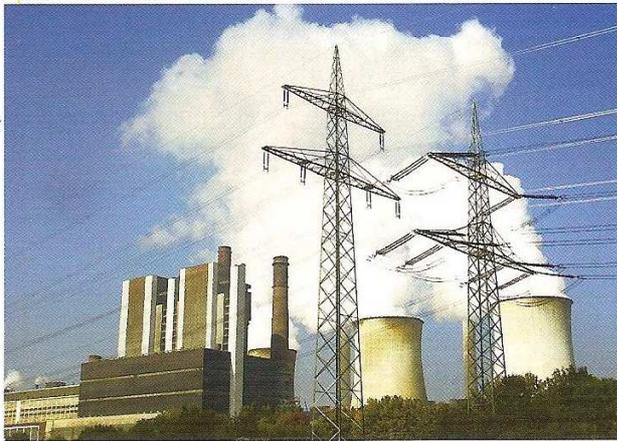
Distribution de l'activité suivante sur les centrales en lien avec l'énergie potentielle : « Entoure pour chacun des 4 cas entoure la centrale permettant de produire le plus d'électricité. Si tu penses que les deux centrales produisent autant d'électricité entoure les deux. » puis correction en groupe classe.



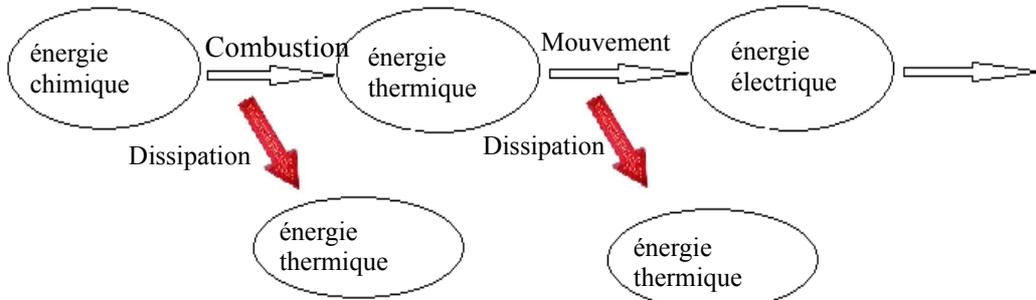
Des sources d'énergie fossiles : le CHARBON, le PETROLE, le GAZ

Modélisation d'une centrale thermique avec une cocotte-minute et la mini éolienne.

Doc 2 Une centrale thermique fonctionnant au charbon.



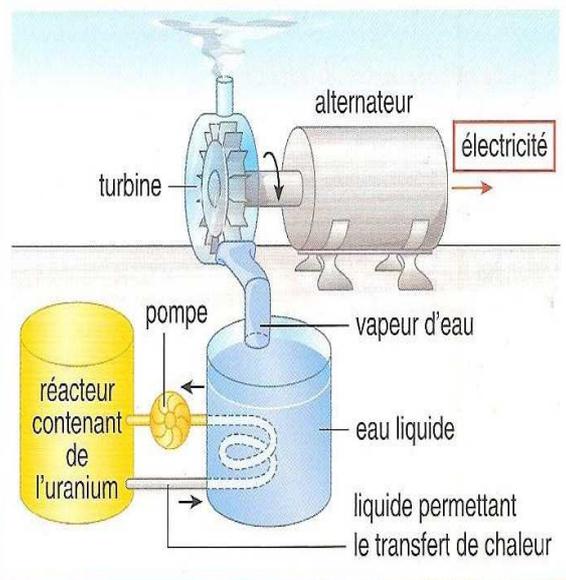
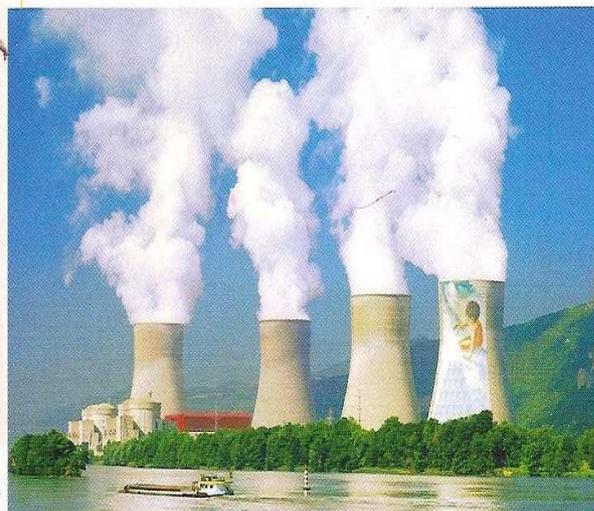
Conversions par la centrale thermique

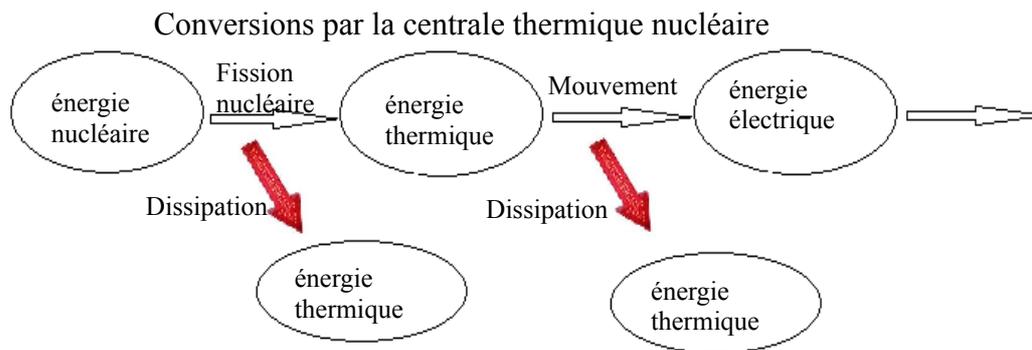


énergie chimique = énergie électrique + énergie thermique dissipée

Une source d'énergie fossile : l'URANIUM (combustible nucléaire) 10'

Doc 3 Une centrale thermique nucléaire.





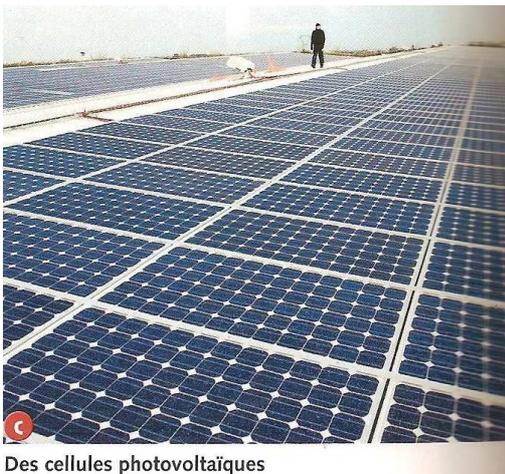
énergie nucléaire = énergie électrique + énergie thermique dissipée

Institutionnalisation :

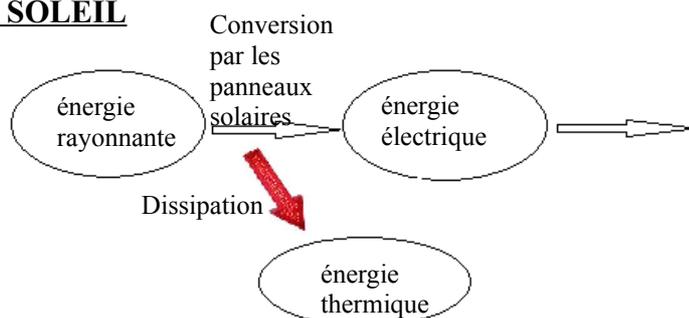
Ce qu'il faut savoir concernant les centrales thermiques :

- Ce que l'on voit sortir des immenses cheminées n'est pas de la fumée mais un nuage constitué de gouttelettes d'eau en suspension dans l'air.
- Ce type de centrale pollue beaucoup :
 - Les centrales classiques dégagent du CO₂ dans l'atmosphère, ce qui accentue l'effet de serre et donc le réchauffement de la planète.
 - Les centrales nucléaires émettent une pollution radioactive nocive pour les êtres vivants et leur environnement. Il y a déjà eu de grandes catastrophes comme à Tchernobyl en 1983 ou encore à Fukushima en 2011, responsables de nombreux décès immédiats et de séquelles sur le long terme (cancers, mutations, ...).

Une source d'énergie renouvelable : le SOLEIL



Des cellules photovoltaïques

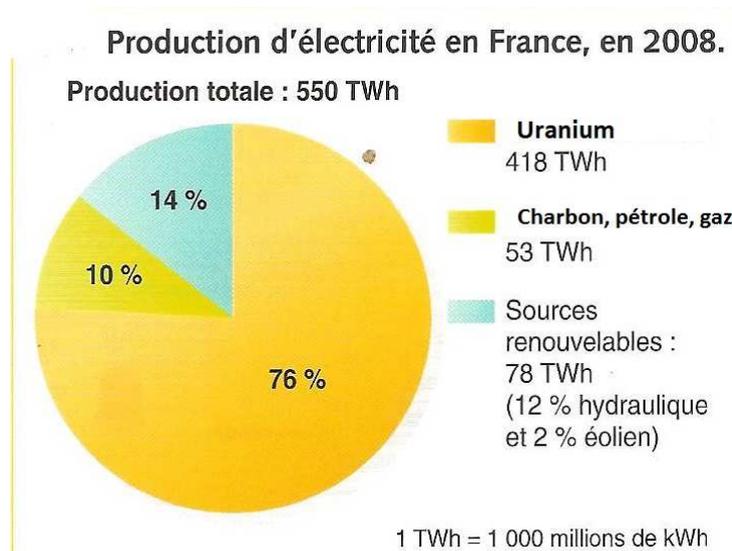


énergie rayonnante = énergie électrique + énergie thermique dissipée

Le Soleil est la source d'énergie à l'origine de toutes les autres : il permet le cycle de l'eau, la croissance des plantes, le vent,...

Produire de l'électricité en France

Distribution du diagramme circulaire montrant les proportions des différentes sources utilisées pour produire de l'électricité : comparer les différentes sources.



IV.2.5) Expérience avec la bille : vers la conservation de l'énergie

Compétences visées :

- Comprendre qu'un transfert d'énergie est progressif, ainsi un corps peu disposer de plusieurs formes d'énergie en même temps (E_p et E_c pour la bille),
- Comprendre que l'énergie ne disparaît pas : elle se dissipe dans l'environnement.

Matériel :

- 4 saladiers incurvés
- 4 billes

Déroulement :

Rappel du questionnaire diagnostique, puis démonstration de l'expérience.

Distribution de l'activité suivante :

Indique pour chaque cas de quelle forme d'énergie dispose la bille :

- de l'énergie cinétique (de mouvement)
- de l'énergie potentielle
- de l'énergie cinétique et potentielle
- d'aucune énergie

La bille est immobile, prête à être lâchée



1

La bille est en mouvement, mais n'est pas au point le plus bas du sol



2

La bille a été lâchée, elle est en mouvement, ici elle est au point le plus bas du bol



3

La bille est remontée à son point le plus haut, elle ne peut plus monter et va redescendre



4

La bille s'est arrêtée, elle est immobile



5

(Noter au tableau la hauteur : $h=10\text{cm}$ et $h=0\text{cm}$)

Question posée à la classe : « Dans le cas n°5, la bille n'a plus d'énergie. L'énergie a-t-elle disparue ? »

Les élèves répondent sur leur cahier de sciences.

Mise en commun :

Rappel sur la dissipation d'énergie sous forme thermique : illustration en demandant aux élèves de se frotter les mains : E chimique (musculaire) \rightarrow E cinétique \rightarrow E thermique

Mise en avant que c'est à cause de ces frottements que la bille ne peut osciller à l'infini.

Lien avec la chaîne énergétique du moulin : « Où allait l'énergie thermique dissipée entre chaque conversion ou transfert d'énergie ? ».

Mise en avant que l'énergie ne disparaît pas, elle est toujours là, mais sous forme thermique et on ne peut plus l'utiliser.

Institutionnalisation :

L'énergie ne disparaît pas, elle se conserve. Elle peut changer de forme (conversion) ou être transférée d'un système à un autre. Lors d'un transfert ou d'une conversion d'énergie, il y a toujours une dissipation de cette énergie dans l'environnement sous forme d'énergie thermique. L'énergie est une grandeur physique que l'on peut mesurer. L'unité internationale est le Joule (J) mais concernant l'électricité, on parle de Wattheures (Wh).

IV.2.6) : Isolation thermique et économie d'énergie

Compétences visées :

- Comprendre la notion d'isolation thermique,
- Comprendre et mettre en œuvre les gestes citoyens pour faire des économies d'énergie dans les situations de la vie quotidienne,
- Comprendre l'impact de l'activité humaine sur l'environnement.

Matériel :

- 2 glaçons
- Un gant en laine
- 2 assiettes

Comment économiser au quotidien de l'énergie ?

Distribution du document suivant (issu du manuel *Hachette Sciences expérimentales et technologie Cycle 3 année 2010*) :

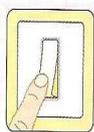


Individuellement, les élèves collent la feuille sur leur cahier de sciences puis doivent trouver les solutions pour économiser de l'énergie.

Mise en commun puis distribution de l'institutionnalisation suivante. Les élèves ajoutent également les autres moyens trouvés pour utiliser moins d'énergie. (ex: ne pas laisser le réfrigérateur ouvert)

Institutionnalisation sur les économies d'énergie :

Voici quelques gestes simples pour économiser l'énergie au quotidien.



Éteins la lumière lorsque tu sors d'une pièce et lorsque la lumière naturelle suffit pour éclairer la pièce.



Ferme les portes et les fenêtres lorsque le chauffage est en marche et **baisse le chauffage** lorsque tu quittes la maison.



Éteins la télévision ou l'ordinateur quand tu ne les utilises pas et **ne les laisse pas en veille**. Un appareil qui reste en veille consomme de l'énergie.



Utilise systématiquement un couvercle sur les casseroles. Cela permet de consommer 4 fois moins d'électricité.



Utilise des ampoules à basse consommation. Elles consomment 5 fois moins d'électricité et durent 6 à 8 fois plus longtemps que les ampoules classiques.

Isolation thermique

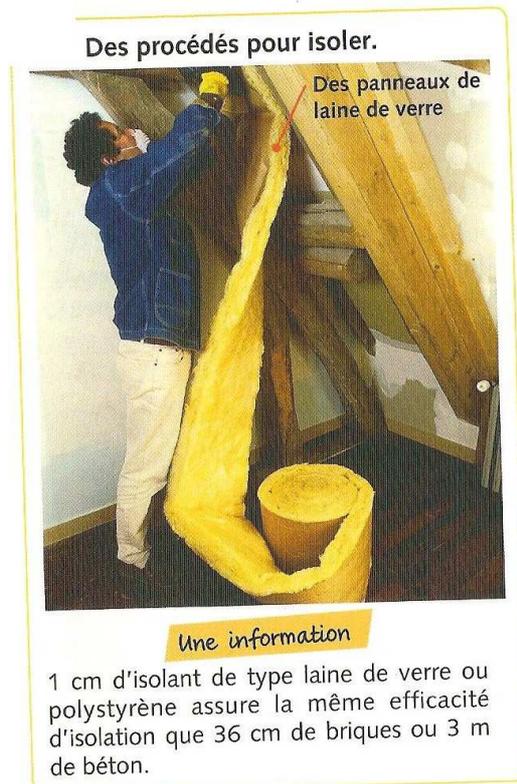
Mise en place de l'expérience pour répondre à la problématique « la laine chauffe-t-elle ? ».

On utilise deux glaçons de même volume, l'un est placé directement sur une assiette, l'autre dans un bonnet de laine.

On demande aux élèves de faire un schéma sur leur cahier d'expérience. Il doivent émettre une hypothèse concernant la vitesse de fusion des glaçons.

Vérification des hypothèses des élèves et conclusion sur l'expérience : les élèves effectuent un schéma sur leur cahier.

Distribution de l'image suivante :



Institutionnalisation sur l'isolation

Un isolant thermique permet de diminuer les échanges d'énergie thermique (chaleur) entre deux systèmes, par exemple entre l'intérieur et l'extérieur d'une maison.

C'est l'air contenu dans l'isolant qui permet de diminuer ces échanges de chaleur.

Ainsi, plus l'isolant contient d'air et mieux il isolera.

IV.2.7) Évaluation énergie CM2

I°] Les sources d'énergie et les actions/effets provoqués par leurs utilisations :

Avec l'aide des illustrations, complète le tableau.



Source d'énergie	Système	action/effet
	Voiture	
	Voilier	
	Feu de camp	
	Vélo + cycliste	
	Montgolfière	

II°] Sources d'énergie renouvelables et fossiles :

Complète le tableau suivant avec 3 sources d'énergie renouvelables et 3 sources d'énergie fossiles que tu connais :

Sources d'énergie renouvelables	Sources d'énergie fossiles

Explique ce qu'est une source d'énergie renouvelable :

.....

.....

.....

Explique ce qu'est une source d'énergie fossile :

.....

.....

.....

III°] Conclusions de l'expérience du moulin

- Dans l'expérience, pour que l'objet remonte le plus haut possible, il fallait une grande quantité d'eau, une petite quantité d'eau ou la quantité d'eau n'avait pas d'importance ?
 Quel matériel as-tu utiliser pour vérifier ta réponse en utilisant le moulin à eau ? Comment l'as-tu utilisé ?

.....

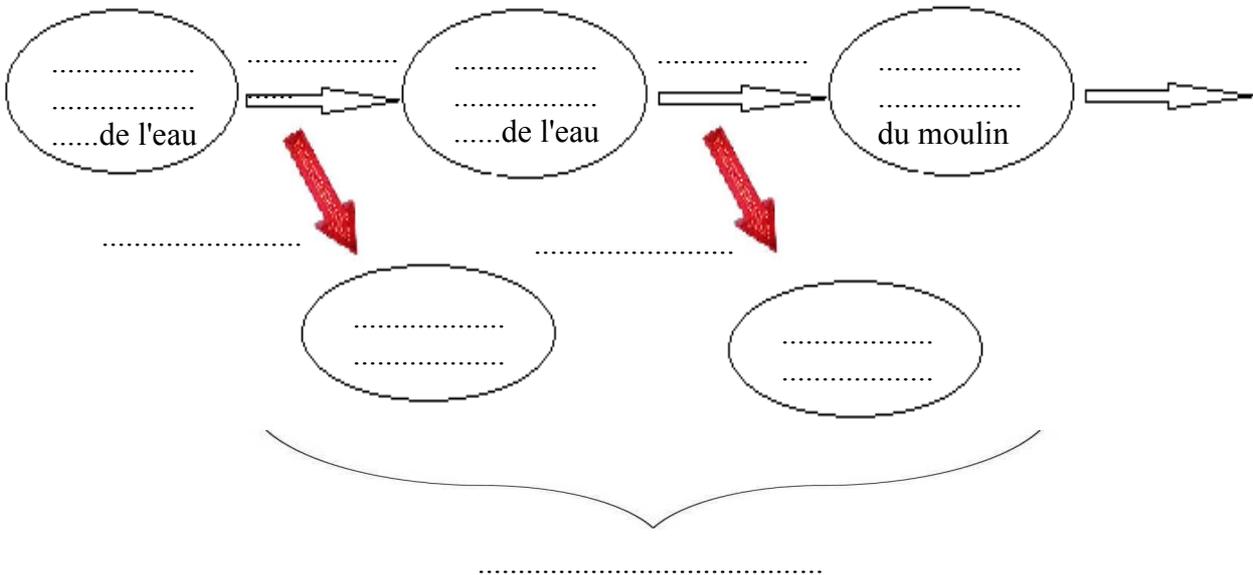
- Dans l'expérience, pour que l'objet remonte le plus haut possible, il fallait verser l'eau le plus haut possible, le plus bas possible ou la hauteur n'avait pas d'importance ?
 Quel matériel as-tu utiliser pour vérifier ta réponse en utilisant le moulin à eau ? Comment l'as-tu utilisé ?

.....

- Comment peut-on expliquer ces résultats de manière scientifique ?

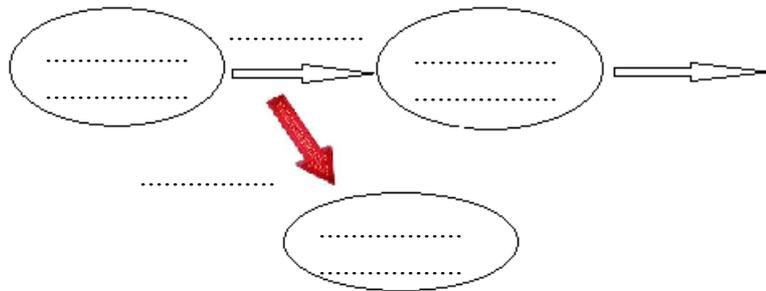
.....

- Complète la chaîne énergétique avec les mots suivants (certains mots peuvent être utilisés plusieurs fois) : énergie potentielle, énergie cinétique, énergie thermique, dissipation, transfert, conversion, environnement.



IV°] Production d'électricité

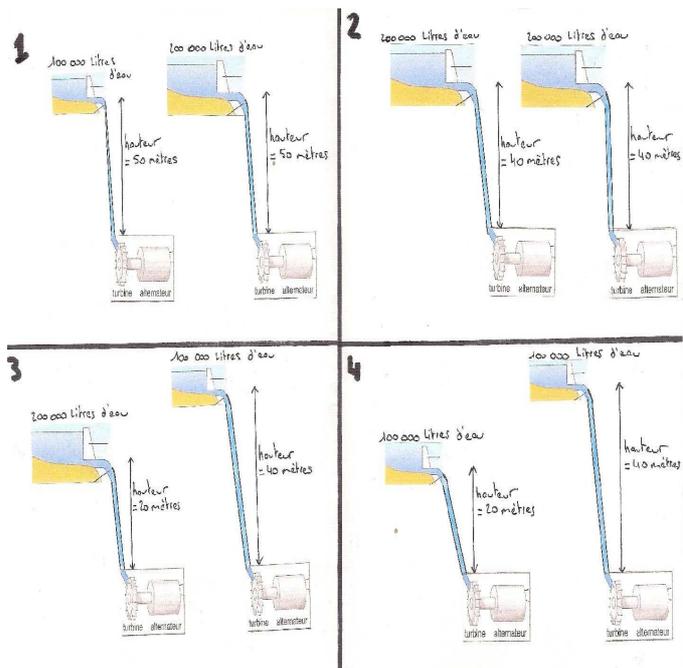
- 1) L'électricité est-elle une source d'énergie ? Entoure la bonne réponse : OUI / NON
- 2) Dans l'image ci-dessous, quelle source d'énergie est utilisée pour produire de l'électricité ?
 Est-ce une source d'énergie renouvelable ou fossile ?
 Complète la chaîne énergétique ci-dessous :



- 3) L'éolienne est un système qui permet de produire de l'électricité. En connais-tu d'autres ?
 Cite les sources d'énergie que ces systèmes utilisent. Indique les dans le tableau :

Source d'énergie	Système permettant de produire de l'électricité
	Éolienne

- 4) Pour chacun des 4 cas entoure la centrale permettant de produire le plus d'électricité.
 Si tu penses que les deux centrales produisent autant d'électricité entoure les deux.
 Fais une croix sous la centrale qui produit le plus d'électricité parmi les 8.

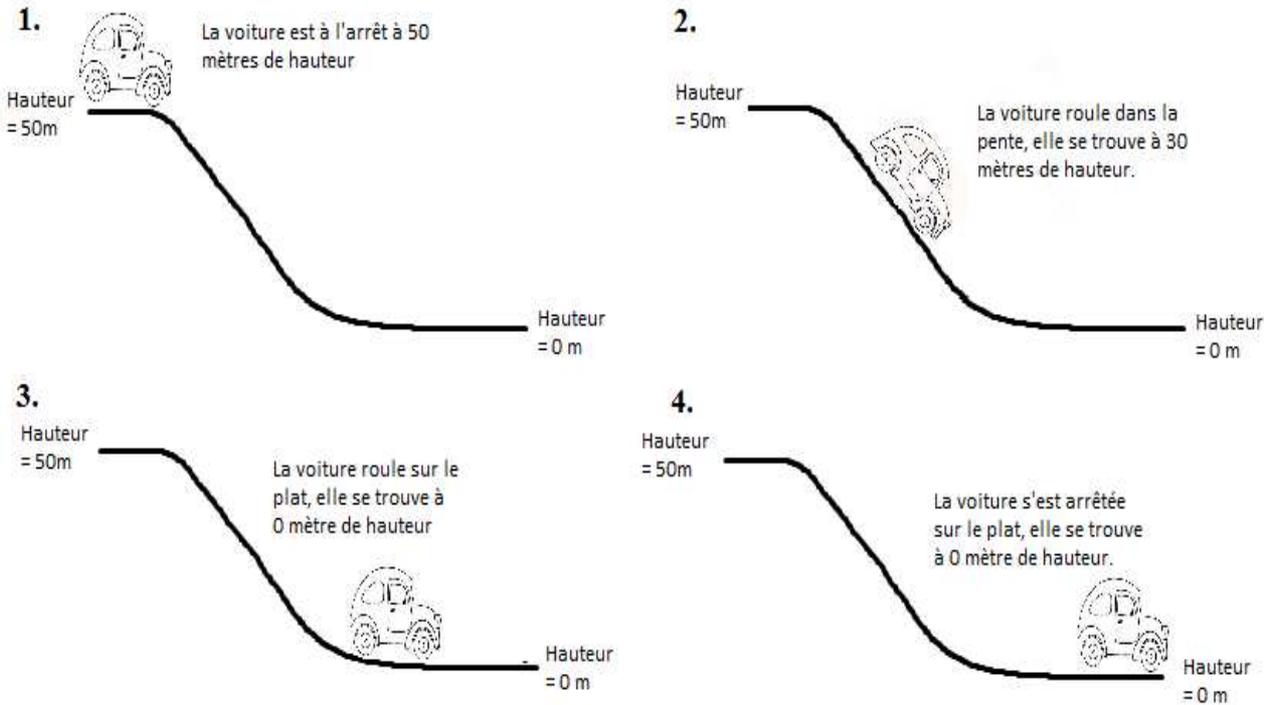


V°] L'expérience de la voiture-jouet

Écris dans chacun des 4 cas la forme d'énergie dont dispose la petite voiture :

- de l'énergie cinétique → Ec
- de l'énergie potentielle → Ep
- de l'énergie potentielle et cinétique → Ep + Ec
- aucune énergie → Ø

La voiture est un jouet lâché du haut d'une pente.



L'énergie disparaît-elle ? Justifie ta réponse.....
.....
.....

VI] Économie d'énergie et isolation

Cite quelques gestes simples pour économiser de l'énergie au quotidien dans ta maison.

.....
.....
.....

La laine chauffe-t-elle ? Utilise l'expérience faite en classe avec les glaçons pour répondre à cette question et justifie ta réponse.

.....
.....
.....

A quoi sert un isolant thermique ?

.....
.....

Quelle est la principale caractéristique des isolants thermiques ?

.....

Compétences attendues à travers l'évaluation :

- être capable d'identifier une source d'énergie,
- être capable de faire la différence entre source d'énergie fossile et renouvelable,
- être capable d'identifier les actions/effets provoqués par l'utilisation d'une source d'énergie,
- comprendre les termes suivants à travers une situation connue :
 - énergie potentielle
 - énergie cinétique
 - transfert d'énergie
 - conversion d'énergie
 - dissipation d'énergie
- connaître les différents moyens de produire de l'électricité,
- connaître les gestes simples pour économiser de l'énergie,
- comprendre la notion d'isolation thermique.

V) Observation et analyse de la séquence enseignée en classe

Le but de cette partie est de revenir sur la séquence mise en place en classe et d'en analyser les réussites et les échecs. On pourra aussi se rendre compte de l'influence de notre enseignement sur les conceptions des enfants. Il est évident que cette séquence n'est pas parfaite, mais cette première expérience peut nous permettre de revenir sur certains choix pour mieux répondre aux besoins des élèves. Il est important de souligner que les contraintes temporelles, cinq séances d'une heure plus l'évaluation sommative, nous ont amenés à aborder certains points trop rapidement et n'ont pas laissé assez de place à des temps de réinvestissement et de consolidation. Même si notre séquence est destinée à une classe de CM2, il nous paraît intéressant d'appréhender l'enseignement de l'énergie dès la classe de CE2 et de multiplier les liens interdisciplinaires tout au long du cycle ; ou à minima pouvoir étendre la séquence de cycle 3 sur une dizaine de séances. Nous pensons que les échecs de certains élèves ont été ici liés à ces contraintes de temps et non à une incapacité cognitive de ces derniers. En effet, de nombreux élèves, de part leurs interventions au cours des séances et leurs réussites à l'évaluation, semblent avoir donné du sens à ces notions complexes. Les points abordés dans cette partie sont ceux que nous avons déterminés comme étant les plus sensibles au regard de l'enseignement délivré. Les sources d'énergie et leur caractère renouvelable ou fossile n'ont pas présenté de difficultés majeures et ont été bien assimilés par les élèves, ce que confirme le tableau récapitulatif des notes et moyennes de l'évaluation en annexe.

V.1) Frottements et dissipation d'énergie

La notion de dissipation étant difficile d'accès pour les élèves, mais indispensable pour bien comprendre le concept d'énergie, il nous a semblé pertinent d'expliquer ce phénomène par le biais d'une approche expérimentale simple. Nous avons ainsi illustré le propos en demandant aux élèves de se frotter les mains vigoureusement (voir III.3.4)). Cette expérience s'est vérifiée concluante puisque d'eux-mêmes les enfants en ont fait un outil qu'ils ont pu réutiliser lors d'autres expériences. Par exemple, nous avons observé, lors de celle du bol et de la bille, des élèves analyser le frottement de la bille avec le bol en faisant l'analogie avec les frottements des mains. Pour comprendre les frottements d'un corps avec l'air, la matérialité de l'air est un pré-requis indispensable. Nous nous sommes, dans notre cas, appuyés sur leurs connaissances sur ce sujet. Ce pré-requis a permis également aux élèves de proposer leurs propres exemples qui ont été souvent

très intéressants. Nous avons notamment retenu celui de la fusée qui, en pénétrant dans l'atmosphère, chauffe et peut prendre feu si sa vitesse est trop grande, ce qui est aussi le cas pour une météorite. L'avantage est que l'on peut s'appuyer sur une photographie, voire une vidéo illustrant bien le phénomène des frottements et celui de la dissipation d'énergie sous forme thermique.

Nous pouvons dire que les frottements et la dissipation d'énergie, aussi complexes que soient ces notions, paraissent abordables et faire sens pour des élèves de CM2. C'est en tout cas l'impression que nous avons eu tout au long de la séquence. La difficulté réside ensuite dans son réinvestissement. C'est ce que nous avons voulu observer dans l'évaluation sommative. Néanmoins, l'analyse et l'interprétation des résultats sont rendues difficiles par le fait que les deux exercices concernés (les chaînes énergétiques des exercices III°] et IV°]) ont été construits à partir d'éléments vus dans le cours. Les élèves qui ont réussi, 25 sur 40, ont très bien pu apprendre par cœur leur leçon sans pour autant avoir bien intégré l'idée de frottement induisant une dissipation d'énergie. Nous sommes par contre assuré de la non compréhension de ces deux éléments pour les élèves qui ont fait une réponse fautive ou absente, soient 15 élèves sur 40.

Deux questions dans un contexte différent de ceux étudiés, lors de l'évaluation, nous aurait permis de mieux nous assurer de la bonne compréhension des élèves et d'en tirer des conclusions plus établies.

- Frottements entre deux corps et dissipation thermique :
Un menuisier fait des trous dans une planche de bois avec une perceuse pendant 30 minutes. Lorsqu'il s'arrête, il touche le foret de la perceuse et se brûle les doigts. Pourquoi le foret est-il chaud, alors qu'il était froid avant l'utilisation de la perceuse ?
- Frottements entre un corps et l'air :
Lorsqu'une météorite entre dans l'atmosphère à une très grande vitesse, elle s'enflamme. Pourquoi ?

En conclusion, nous pouvons penser que ces notions ont fait sens pour certains élèves, malgré un enseignement difficile donné sur une courte période. Sans extrapoler, il nous semble donc possible, en laissant aux élèves le temps d'ancrer ces nouvelles données, de toucher une majorité d'entre eux.

V.2) Énergie cinétique et potentielle : conversion progressive et transfert

Nous avons fait le choix, comme nous l'avons déjà explicité, d'introduire les deux notions d'énergie cinétique et potentielle, choix qui rompt avec ce qu'en disent les chercheurs didacticiens. Il nous paraît donc intéressant de prendre du recul sur la manière dont les élèves ont perçu ces nouvelles notions, qui accompagnées d'un vocabulaire technique aurait pu en « bloquer » certains. A notre grande surprise, les élèves se sont sentis valorisés par l'apport d'un vocabulaire scientifique, normalement « pas de leur âge », qu'ils ont pris plaisir à réinvestir. Ils ont également utilisé allègrement les abréviations E_p et E_c , introduits pour l'écrit mais qu'ils ont souvent gardé pour s'exprimer à l'oral, se sentant ainsi « dans la peau du scientifique ».

Retour sur l'expérience du moulin et de la chaîne énergétique correspondante :

Concernant l'expérience du moulin-objet, il est important de noter que l'eau est ici un système ouvert puisqu'au niveau de l'expérimentation, une partie de l'eau ne tombe pas sur les pales du moulin. Ceci constitue donc une perte de matière, et donc une perte d'énergie. Ceci gêne l'exploitation des résultats de l'expérience car certains élèves en ont déduit puis généralisé que la hauteur avait une plus grande influence que la masse (voir tableau des résultats IV.2.2) p.43). Idéalement il conviendrait de créer un dispositif permettant d'amener l'intégralité de l'eau sur les pales du moulin.)

A la suite de l'expérience du moulin, au cours de la réalisation de la chaîne énergétique correspondante, nous avons fait le choix, dans un premier temps, de distinguer seulement deux situations : l'objet possède de l'énergie potentielle ou l'objet possède de l'énergie cinétique. Le choix de ne pas parler de la présence à la fois d'énergie potentielle et cinétique au sein du système permet d'illustrer facilement les transferts et conversions d'énergie. Cependant il n'en est pas sans conséquence. L'énergie potentielle est définie avec les enfants comme la forme d'énergie que possède tout corps (avec une certaine masse) en hauteur ; l'énergie cinétique elle, est définie comme une énergie de mouvement : tout corps en mouvement possède de l'énergie cinétique.

Les plus gros inconvénients de cette simplification sont :

- d'une part, le risque pour l'élève d'associer l'immobilité à la présence d'énergie potentielle et non pas d'associer uniquement le mouvement à la présence d'énergie cinétique. Ainsi pour une bille placée au sol, l'élève pourra répondre qu'elle dispose d'énergie potentielle, s'il associe l'énergie cinétique à la présence de mouvement, et donc l'énergie potentielle à son

absence. Ceci est renforcé dans l'expérience avec la chaîne énergétique puisqu'à chaque fois que l'énergie potentielle est citée elle ne dispose d'aucune énergie cinétique.

- d'une autre part, l'élève aura ensuite des difficultés pour reconnaître l'aspect progressif des transferts et conversions d'énergie et ainsi la présence à la fois d'énergie potentielle et d'énergie cinétique au sein d'un système.

Modifications et prolongements de la démarche proposée :

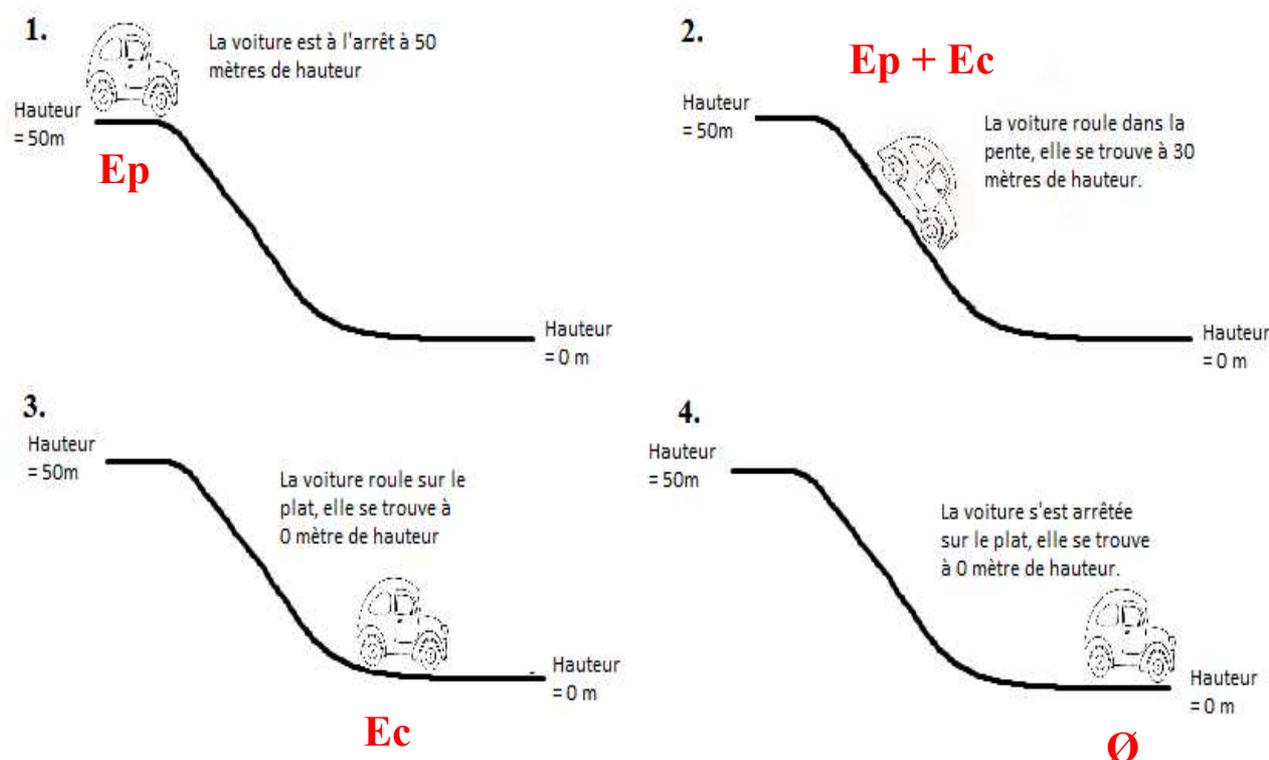
Une autre possibilité, peut-être plus pertinente, serait d'aborder toutes ces notions plus progressivement, au cours de trois séances :

- Une première séance avec l'expérience du moulin pour expliquer uniquement l'énergie potentielle et l'institutionnaliser.
- La séance suivante aurait consisté à proposer d'abord une expérience pour illustrer uniquement l'énergie cinétique avec des objets en mouvement au sol (donc avec une hauteur nulle), ceci permettant aussi de mettre en avant les frottements avec le sol. Nous aurions ensuite introduit une hauteur (par exemple un objet en chute libre) pour bien comprendre que l'énergie cinétique dépend simplement du mouvement, et que les deux formes d'énergie peuvent se retrouver en même temps au sein d'un système. Cet exemple permet aussi d'expliquer et de comprendre la conversion progressive d'énergie potentielle en énergie cinétique. Concernant l'idée de conversion progressive, un seul exemple ne suffisant pas, il faut en donner d'autres aux élèves : par exemple avec un yoyo ; ou avec une voiture (toute l'essence est-elle utilisée d'un coup ?).
- Enfin, une dernière séance reprenant l'expérience du moulin, aurait permis de mieux comprendre la chaîne énergétique correspondante, en utilisant l'idée de conversion progressive d'une forme d'énergie en une autre vue au cours de la séance précédente. Cette séance constituerait alors une séance de réinvestissement et de consolidation des notions vues précédemment. Ce serait aussi le moment d'introduire le terme de transfert d'énergie d'un système à un autre (de l'eau au moulin par exemple).

Nous nous sommes rendus compte, au cours de la séquence et au travers de l'évaluation que toutes ces notions méritent d'être décontextualisées au maximum et réinvesties dans de nombreux exemples et chaînes énergétiques.

Identification des conceptions des élèves à partir des résultats de l'évaluation :

Nous allons maintenant nous interroger sur l'acquisition des notions d'énergies potentielle et cinétique à travers l'analyse de l'exercice sur la voiture-jouet dans la partie V°] de l'évaluation (voir tableau en annexe 2). Il faut bien préciser que cet exercice, semblable à celui du bol et de la bille, a été décontextualisé afin de rendre compte au mieux des connaissances acquises par les élèves. Voici l'exercice en question accompagnée des réponses attendues :



Dans un premier temps, nous traiterons des résultats de manière globale avant de s'intéresser plus particulièrement aux conceptions identifiées à travers l'analyse des réponses de chaque élève. Tout d'abord, concernant l'énergie cinétique, 31 élèves sur 40 ont reconnu la présence de cette forme d'énergie uniquement aux étapes 2 et 3, ce qui nous permet de penser que ces élèves ont bien compris que le mouvement du système étudié (la voiture) implique la présence d'énergie, plus particulièrement d'énergie cinétique. Ceci va dans le sens des résultats des chercheurs didacticiens, comme Agabra, mettant en avant le lien très fort qu'il existe entre énergie et mouvement chez les élèves. Mais Agabra insiste sur le fait que c'est à cause de lien que naît l'impossibilité des élèves à reconnaître la présence d'énergie potentielle dans un corps immobile et placé en hauteur (1985, p.105) (voir partie III.1.2)). Cet élément est en rupture avec nos résultats puisque 33 élèves sur 40 ont reconnu la présence d'énergie potentielle dans le cas 1. Notons toutefois que ceci n'implique pas

une bonne compréhension de la notion même d'énergie potentielle. Effectivement seulement 12 élèves sur 40 ont réellement compris cette notion à travers cet exercice en précisant la présence d'énergie potentielle uniquement dans les cas 1 et 2. L'apprentissage de la notion d'énergie potentielle semble donc beaucoup plus problématique que celle d'énergie cinétique.

Nous allons donc nous questionner sur les résultats des élèves pour en identifier les raisonnements ayant conduit aux réponses données. Nous avons regroupé les réponses similaires, des 40 élèves ayant passé l'évaluation, pour les rassembler sous 6 catégories avec un code couleur renvoyant au tableau en annexe 2 :

- Catégorie verte : 11 élèves ont répondu correctement aux quatre étapes ce qui semble indiquer une bonne conception des notions d'énergie cinétique et potentielle. Cet élément est très positif puisqu'il semblerait que notre enseignement ait fait sens dans leur cas.

- Catégorie bleue : 12 élèves ont répondu de la manière suivante aux quatre étapes :

1) Ep ; 2) Ec ; 3) Ep + Ec ; 4) Ø sauf deux élèves qui ont écrit Ep ;

Pour ces élèves, il semblerait qu'ils aient associé l'énergie potentielle à la présence de la voiture sur un support horizontal. Ici, la pente induit donc l'absence d'énergie potentielle, mais la présence d'énergie cinétique, qui est bien comprise par ces élèves. Il est intéressant de remarquer que 10 élèves ont tout de même reconnu l'absence d'énergie au sein de la voiture dans le cas 4. Pour ces élèves le raisonnement serait le suivant :

1) La voiture est en hauteur, immobile (donc pas d'Ec) et sur un support horizontal : elle a de l'Ep.

2) La voiture est en mouvement donc elle a de l'Ec, mais elle est dans une pente, donc pas d'Ep.

3) La voiture est en mouvement donc elle a de l'Ec, mais elle est sur un support horizontal donc elle a également de l'Ep.

4) La voiture est immobile et n'est pas en hauteur donc elle n'a plus aucune énergie.

Concernant les deux autres élèves la conception, support horizontal = Ep, est bien plus ancrée et est appliquée comme une règle établie. C'est ce que prouve la réponse à l'étape 4) en disant que la voiture possède encore de l'énergie potentielle.

On voit ici que c'est l'énergie potentielle qui pose problème. Cette difficulté illustre la nécessité d'effectuer davantage de réinvestissement sur l'influence de la hauteur sur l'Ep. L'utilisation de la formule $E_p = mgh$ permettrait d'éviter un tel raisonnement. De plus, l'approche proposée en trois séances (ci dessus), isolant l'étude de l'Ep de celle de l'Ec permettrait probablement à ces élèves de dépasser cet obstacle.

- Catégorie orange : 5 élèves ont répondu de la manière suivante : 1) Ep ; 2) Ec ; 3) Ec ; 4) \emptyset ; Ces élèves semblent avoir bien assimilé le fait que le mouvement implique la présence d'Ec. Nous avons établi deux hypothèses concernant l'absence d'Ep dans le cas 2 :
 - L'élève ne reconnaît pas la présence de deux formes d'énergie au sein d'un système. Ceci peut être dû à notre enseignement et au problème soulevé au début de cette partie. (simplification des formes d'énergie présentes au sein du système lors de la conversion.)
 - La condition pour que l'élève reconnaisse la présence d'Ep est l'immobilité du corps et sa localisation en hauteur. Lorsque la voiture est en hauteur et en mouvement elle n'a plus d'Ep. Ceci peut également être lié à la non reconnaissance de l'aspect progressif de la conversion (toute l'Ep serait alors convertie en Ec).

- Catégorie rouge : 2 élèves ont répondu de la manière suivante : 1) Ep ; 2) Ec ; 3) Ec ; 4) Ep ; Ces deux élèves ont eux aussi compris que le mouvement implique la présence d'Ec. Mais comme nous l'avons soulevé au début de cette partie, ils ont associé l'Ep à l'immobilité. Notons que cette conception n'est pas majoritaire comme nous le pensions au vue des simplifications faites au cours de l'enseignement pour distinguer Ep et Ec. Il semblerait que la démarche que nous avons proposé n'induit pas fortement cette conception. Par contre cette dernière rejoint la conception précédente pour laquelle les élèves ne reconnaissent pas la présence de deux formes d'énergie au sein d'un même système.

- Catégorie marron : 2 élèves ont signalé l'absence d'énergie aux étapes 1) et 4). Ces élèves ont la conception soulevée par Agabra, Trellu et Toussaint : un corps immobile ne possède pas d'énergie. Toutefois cette conception est quasiment absente de l'échantillon ayant reçu notre enseignement. Contrairement à ce que pensent ces chercheurs il semble que le fait même d'aborder les notions d'Ep et d'Ec permettent de dépasser cet obstacle. Cet obstacle n'est donc pas une raison pour ne pas enseigner l'Ep en primaire, bien au contraire.

- Catégorie grise : 7 élèves ont eu des réponses que nous n'avons pas pu ou pas su exploiter.

En conclusion, ces résultats mettent en avant que d'une part, l'énergie cinétique ait été bien assimilée par la majorité des élèves (78%), mais d'autre part l'énergie potentielle a amené les élèves à diverses conceptions erronées plus ou moins ancrées, souvent dues à notre démarche ou en tout

cas à la densité de notions abordées sur une trop courte période. Cependant 30% des élèves ont montré une bonne compréhension de cette forme d'énergie, ce qui nous amène à penser qu'il est possible, en suivant une progression plus étendue, d'amener la majorité des élèves vers cet apprentissage. Un autre point positif est la quasi-absence de l'obstacle identifié par Agabra et Trelu, puis utilisé comme argument pour justifier de l'impossibilité cognitive des élèves à acquérir cette notion. Ce que l'on retient finalement c'est qu'une partie importante de notre échantillon a réussi à accéder au savoir visé, ce qui montre qu'un élève de cet âge a la capacité cognitive de s'ouvrir à ces apprentissages complexes. Il faudra néanmoins se méfier d'un enseignement trop élitiste, ce qui justifie la nécessité de placer cet enseignement sur une période plus longue, sur l'ensemble du cycle 3, en accord avec les progressions de 2012. Nous pensons cependant que l'apprentissage des notions les plus complexes (énergie potentielle et cinétique, transfert, conversion d'énergie) est à faire en CM2, quand les élèves ont atteint une maturation cognitive le permettant. Les classes de CE2 et de CM1 seront alors propices à recevoir un enseignement posant des bases simples et claires qui seront un tremplin pour la suite des apprentissages.

V.3) La notion de système

Dès le début de la séquence ce terme a été en proie à des confusions pour certains élèves, d'une part avec les sources d'énergie, d'une autre avec les effets et actions liés à l'énergie. On a par exemple vu que certains élèves utilisaient des verbes d'action comme « pêcher » dans la colonne système, certains voyaient la canne à pêche comme source d'énergie (voir le premier tableau de la partie IV.2.1)). Notre grosse erreur a été de ne pas reprendre suffisamment le terme de système et ce qu'il recouvre avec les enfants. Pour l'enseignant comme pour les enfants, identifier le ou les systèmes dans lequel ou lesquels on travaille doit devenir un réflexe. L'étude des manifestations énergétiques comme on l'a vu à travers une chaîne se doit de spécifier pour chaque étape dans quel système on se place, ceci pour éviter toute confusion. C'est ce que nous avons pu remarquer concernant l'exercice V°] de l'évaluation. A la question « L'énergie disparaît-elle ? », la plupart des élèves ont répondu par l'affirmative, ayant considéré la disparition de l'énergie du système voiture et non du système environnement comme nous l'attendions. Nous voyons ici tout l'intérêt d'être précis quant à la nature du système pour éviter ce type de quiproquo. Nous aurions pu poser deux questions :

- Dans le système voiture, l'énergie a-t-elle disparu ?
- Si oui, cette énergie se trouve-t-elle dans un autre système ou a-t-elle complètement disparu ?

Ceci aurait permis de mieux rendre compte des connaissances des élèves.

En conclusion, la notion de système est à prendre davantage en considération et à réfléchir pour en faire un outil pertinent et utilisable par les élèves.

Conclusion

A travers ce mémoire de recherche, nous avons essayé de répondre à la problématique suivante : quels sont les ingrédients qui peuvent permettre, à des élèves de cycle 3, de s'approcher au plus près du concept de conservation de l'énergie ?

Par l'étude épistémologique du concept de conservation de l'énergie, et celle des articles de chercheurs en didactique sur l'enseignement de l'énergie, nous avons pu établir quels étaient ces ingrédients. Tout d'abord, le cadre de travail qu'offre la notion de système est indispensable à l'étude des échanges énergétiques. En découle la nécessité de définir ce vocabulaire dès le début de l'enseignement à l'école primaire. Puis, c'est à travers les principes de conversion, de transfert et de dissipation d'énergie que l'on pourra amener les élèves vers la conservation de l'énergie. C'est par l'étude de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique que ces principes, indispensables à la compréhension du concept, peuvent être construits.

De nombreux chercheurs, comme Agabra, Trellu ou encore Toussaint, pensent que la notion d'énergie potentielle est hors de portée des enfants de primaire. Même si la notion d'énergie cinétique semble intuitive, ces chercheurs déconseillent l'enseignement de ces formes à l'école primaire. Il paraît effectivement plus aisée d'identifier la forme d'énergie que possède un système en regardant s'il est en mouvement, plutôt qu'en regardant sa position dans l'espace. Notre recherche s'est donc focalisée sur le franchissement de l'obstacle que constitue l'énergie potentielle, puisqu'au centre des principes fondateurs du concept. L'entrée que nous avons proposée, partant des conceptions des élèves, et mettant en œuvre une démarche d'investigation pour les amener vers l'énergie potentielle semble être relativement concluante. De nombreux éléments indiquent que les élèves de CM2 peuvent déjà avoir acquis la maturation cognitive nécessaire à la compréhension de ces ingrédients complexes, indispensables pour construire le principe de conservation d'énergie de manière latente. Mais il s'agit d'un enseignement difficile, et dans le souci de la réussite de tous les élèves, il doit bénéficier de longues phases d'expérimentations et de réinvestissements. Effectivement, l'abstraction est progressive dans cet enseignement, et chaque élément est utilisé pour en construire d'autres, toujours plus complexes. En découle un danger que nous avons pu percevoir, au vue de l'analyse des résultats de l'évaluation. Si les apprentissages précédents n'ont pas été renforcés pour en faire une base solide, alors l'élève va combler les incompréhensions par ses propres règles qu'il appliquera logiquement. C'est ce que nous avons constaté précisément pour l'énergie potentielle. Selon nous, il faut respecter certaines contraintes de temps pour que tous les élèves entrent dans l'apprentissage proposé, et consolident les connaissances acquises. Il serait trop

illusoire de viser, dans un enseignement équitable, la pleine compréhension du principe de conservation d'énergie, c'est pourquoi nous parlons de le construire de manière latente. Ainsi, la conservation de l'énergie n'a pas fait l'objet d'une séance particulière. Nous avons donné les ingrédients qui permettent, si le lien est fait, de construire soi-même le concept. S'il ne l'est pas encore, il le sera plus tard lors de l'enseignement de l'énergie au collège. Et le fait que toutes ces notions et outils pour décrire les mécanismes de l'énergie, aient été déjà étudiées à l'école primaire à travers des expériences, sur trois ans qui plus est, pourra permettre aux élèves de réactiver des connaissances indispensables pour faire du mot « énergie » un concept scientifique et non un concept économique-sociétal. Mais cela peut permettre autre chose de fondamental pour aller dans cette direction. En offrant cet enseignement, nous avons influé sur les représentations des élèves concernant l'énergie. Pour certains élèves, pour qui les apprentissages auront fait sens, le regard qu'ils portent sur le monde, et sur les propos des médias, aura certainement changé, et il est probable que certaines conceptions soient dès lors incompatibles avec le raisonnement qu'ils auront construit. Notre analyse nous a par exemple permis de montrer que seulement deux élèves en fin de séquence pensaient encore qu'un corps immobile ne pouvait posséder d'énergie. Nous avons remarqué également en début de séquence, et ce dès le questionnaire diagnostic, que les élèves réfléchissaient beaucoup de manière intuitive sur un thème qui leur paraissait bien trop vaste. A la fin, notamment lors de la manipulation sur l'expérience du bol et de la bille, la plupart d'entre eux tentaient d'avoir un raisonnement scientifique à partir des outils et du vocabulaire vus en classe, prenant plaisir à user des abréviations Ep et Ec.

Nos résultats nous semblent donc encourageants, mais un prolongement serait nécessaire pour vérifier nos nouvelles hypothèses. De plus, il serait plus représentatif de travailler avec un échantillon plus large et diversifié. Cependant nous retenons que, en comparaison avec une séquence sur l'énergie proposée par un manuel, notre démarche a mené les élèves vers une réelle réflexion scientifique, en manipulant des notions complexes et du vocabulaire nouveau. Les conceptions ont évolué pour en amener de nouvelles, parfois erronées mais montrant tout de même l'investissement des élèves et la progression de leur raisonnement. Ainsi, si l'analyse des conceptions portait, au début de notre travail de recherche, sur un cadre très large avec les 7 conceptions de Trumper, elle a pu évoluer vers une analyse beaucoup plus fine. Nous retiendrons celle de l'énergie potentielle qui nous a permis d'identifier des conceptions nouvelles. Cette identification est indispensable pour dépasser l'obstacle qu'elles constituent et ainsi s'approcher d'une pleine compréhension de l'énergie potentielle.

Pourtant certains élèves paraissent avoir dépassé tous ces obstacles, et saisi les ingrédients

indispensables à la compréhension du principe de conservation de l'énergie ; d'autres ont de nouveaux outils à disposition qui leurs permettront de ne pas s'ancrer davantage dans des conceptions erronées. Il serait d'ailleurs très intéressant de s'interroger davantage sur les conceptions des élèves dans la société actuelle, car, comme nous l'avons soulevé, elles semblent avoir évolué avec le temps vers une représentation toujours plus fonctionnelle.

Bibliographie

Articles :

- Watts, D. Michael, (1983). *Some alternative views of energy*, Phys. Educ., Vol 18, 213-216.
- Trumper, R. (1993) *Children's energy concepts : a cross-age study*, INT.J.EDUC., vol. 15, n°2, 139-148.
- Trumper (1990) *Being constructive : an alternative approach to the teaching of the energy concept-part one* 344.
- Trelu, J.L., et Toussaint, J., (1986). *La conservation un grand principe*, Aster, .
- Solomon, J. (1982). How children learn about energy, or does the first law come first ? *Journal of sciences Review*, 63 (224), 415-422.
- Solomon, J. (1985). Teaching the Conservation of Energy. *Physics Education*, 20, 165-170.
- Muriel Guedj-Chauchard, (2003). L'introduction du principe de conservation de l'énergie dans l'enseignement secondaire français, vue à travers quelques manuels. *Trema n°22*, 54.
- Colomb, M., (1985). *Rencontres pédagogiques n°4*.
- Arcelin, J. et Therras, C., (2011). *L'énergie dans l'enseignement primaire*
- Agabra, J., (1985). *Energie et mouvement*, Aster, 95-113.

Ouvrages :

- Lecourt, D. et Bourgeois, T. (2006). *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, PUF, 342-343.
- Lavoisier, A., (1789). *Traité élémentaire de chimie*, 101.
- Kastler, (1962). *Cours de thermodynamique de G.Bruhat*.
- *Dictionnaire de Physique et de Chimie*, (1978), Hachette.

BO de l'école primaire :

- BO 18 juin 2008
- BO 05 janvier 2012

Manuels :

- Guichard, J., (2010). *Sciences expérimentales et technologie Cycle 3*, Hachette.
- Tavernier, R., (2009). *Sciences expérimentales et technologie CM1 CM2*, Bordas (manuel de l'élève et livre du maître).

Annexes

Annexe 1 : Tableau statistique des évaluations réalisées par les classes de CM2

	Notes élèves /20	Notes exercice sources d'énergie /4,5	Notes exercice renouvelable et fossile /5	Notes exercice expérience du moulin /9	Notes exercice production d'électricité /11,5	Note exercice expérience de la voiture /5	Notes exercice isolation /5
Rollan	2,5	0,5	0	1,5	3	0	0
Dylan	5	3	0	0,5	4,5	1	1
Chaimâa	6	3	1,5	2,5	3,5	0	1,5
Matéo	6,5	2	2	2	3	1	3
Gaspard	9,5	4,5	2,5	3,75	3,5	2,5	2
Océane	9,5	4	2,5	4,25	3,5	2,5	2
Victor	10	4,5	3,5	1,25	4,5	3,5	2,5
Jalel	10	3	4,5	5	5	1	1
Louis L.	10,25	3,5	2,5	5,5	4,5	3	1,5
Hamza	11	3	4	6,5	6,5	1	1
Enzo	11	4	4	6	5,5	1	1,5
David	11,25	4	5	3	5,5	3	2
Hugo B.	11,5	3,5	2,5	4,75	6	3	3
Mélodie	12	4	2,5	6,5	6,5	2,5	2
Yasmine	12	3	2,5	5,5	7	3	3
Quentin	12,25	2,5	4	5	6	4	3
Clément	12,25	2,5	5	6	7,5	1	2,5
Delia	12,75	3	4	6,5	5,5	4	2,25
Victor	13,25	4	4,5	7	5,5	3	2,5
Nino	13,25	4,5	4,5	5	7,5	4	2
Max	13,5	4	2	6,5	8,5	4	2,75
Charles	13,5	4	3,5	6,25	6,5	4	2,5
Yousra	13,5	4	5	6,75	5	4	2
Louis W.	13,75	3,5	4,5	6	6	4,5	3
Emilien	14	4,5	5	6,5	8,25	4	0
Lucia	14	3	5	6,5	8,5	2	3
Mathis	14	4	5	6,5	7	2	3,5
Adèle	14,5	4	5	5,5	8	2	4,5
Roméo	14,75	4	4,5	9	6,5	2	3,5
Alexandre	14,75	4	3,5	6,75	10	2	3
Louise	15,25	4,5	5	5	11,5	2	2,5
Angelina	15,75	4	5	7,5	9	3	3
Elio	15,75	4,5	4,5	9	8	2	3,5
Antonin	16,25	4,5	5	8,5	10,5	3	5
Jérémy	16,75	4	5	8,5	8,5	4	3,5
Thomas	17,25	4,5	5	6,75	9	5	4
Léonard	17,75	3,75	5	8,5	10,5	4,5	3
Zoé	17,75	4	5	8,5	11,5	3	3,5
Victoire	17,75	4	5	9	11,5	2	4
Léo	18,25	4,5	5	9,5	9	4	4,5
Moyenne	12,76	3,68	3,85	5,88	6,93	2,68	2,59
Écart-type	3,58	0,83	1,41	2,24	2,4	1,28	1,13
Médiane	13,38	4	4,5	6,38	6,5	3	2,63
Moyenne en %	63,81	81,81	77	65,28	60,27	53,5	51,75
Écart-type en %	17,92	18,4	28,12	24,85	20,9	25,68	22,55
Médiane en %	66,88	88,89	90	70,83	56,52	60	52,5

Annexe 2 : Tableau des résultats de l'évaluation exercice V°] et conceptions identifiées

Prénoms élèves	Notes élèves / 20	Réponse à la question 1 (Ep)	Réponse à la question 2 (Ep + Ec)	Réponse à la question 3 (Ec)	Réponse à la question 4 (Ø)	Conceptions	Ec bien compris	Ep bien compris
Rollan	2,5	X	X	X	X			
Dylan	5	Ec	X	X	Ø			
Chaimâa	6	X	X	X	X			
Matéo	6,5	Ec	Ec	Ec	Ep			
Gaspard	9,5	Ep	Ec	Ec + Ep	Ø		OK	
Océane	9,5	Ep	Ec	Ec + Ep	Ø		OK	
Victor	10	Ep	Ec + Ep	Ep	Ø			
Jalel	10	Ep	Ec	Ec + Ep	Ep	Ep = plat	OK	
Louis L.	10,25	Ep	Ec	Ec	Ø		OK	
Hamza	11	Ep	Ep	Ep + Ec	Ec			
Enzo	11	Ep	Ec	Ep + Ec	Ep	Ep = plat	OK	
David	11,25	Ø	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	
Hugo B.	11,5	Ep	Ec	Ec	Ø		OK	
Mélodie	12	Ep	Ec	Ec	Ep		OK	
Yasmine	12	Ep	Ep + Ec	Ec	Ec			OK
Quentin	12,25	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK
Clément	12,25	Ø	Ec	Ep	Ø			
Delia	12,75	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK
Victor	13,25	Ep	Ec	Ec	Ø		OK	
Nino	13,25	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK
Max	13,5	Ep	Ec	Ec	Ø		OK	
Charles	13,5	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK
Yousra	13,5	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK
Louis W.	13,75	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK
Emilien	14	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK
Lucia	14	Ep	Ec	Ep + Ec	Ø		OK	
Mathis	14	Ep	Ec	Ec	Ep		OK	
Adèle	14,5	Ep	Ec	Ep + Ec	Ø		OK	
Roméo	14,75	Ep	Ec	Ep + Ec	Ø		OK	
Alexandre	14,75	Ep	Ec	Ep + Ec	Ø		OK	
Louise	15,25	Ep	Ec	Ep + Ec	Ø		OK	
Angelina	15,75	Ec	Ep	Ec	Ø			
Elio	15,75	Ep	Ec	Ep + Ec	Ø		OK	
Antonin	16,25	Ep	Ec	Ep + Ec	Ø		OK	
Jérémy	16,75	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK
Thomas	17,25	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK
Léonard	17,75	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK
Zoé	17,75	Ep	Ec	Ec	Ø		OK	
Victoire	17,75	Ep	Ec	Ec + Ep	Ø		OK	
Léo	18,25	Ep	Ep + Ec	Ec	Ø		OK	OK

Code couleur conceptions :

bonne conception	11	OK	OK
Il y a de l'Ep que si la voiture est sur le plat et il y a de l'Ec quand il y a du mouvement. Reconnaissance de l'absence d'énergie au cas 4) (10 élèves sur les 12)	12	OK	
Soit il y a de l'Ep si le corps est immobile et en hauteur, et de l'Ec si il y a un mouvement, soit l'élève a des difficultés pour reconnaître la présence de 2 formes d'énergie au sein d'un système mais le mouvement induit l'Ec.	5	OK	
L'immobilité induit l'énergie potentielle et le mouvement l'Ec	2	OK	
Immobilité = absence d'énergie	2		
Résultats absents ou incohérents ou difficilement exploitables	7		