



L'énergie, dans l'enseignement scolaire

Jacques Toussaint

Université Claude Bernard - Lyon 1

jacques.toussaint@univ-lyon1.fr



S2HEP - LIRDHIST - Université de Lyon - Université Lyon 1
Bat. La Pagode - 38 Bd Niels Bohr - 69622 Villeurbanne Cedex, France
téléphone : (+33) 04 72 43 27 61 - <http://s2hep.univ-lyon1.fr/>



Résumé de la présentation :

Pour éclairer les choix nécessaires à l'enseignement d'une notion, d'un concept, il est utile de porter auparavant plusieurs regards ; le premier est celui sur l'histoire du concept (l'énergie, ici), le deuxième s'adresse aux possibilités retenues dans les programmes précédents, et le troisième pointe les difficultés créées par chacune auprès des élèves et étudiants.

Le premier regard indique que le concept a pris, longuement, forme par convergence d'approches très diverses. Le deuxième révèle la dynamique de l'enseignement qui prend progressivement en compte, évidemment les évolutions scientifiques, mais aussi les demandes sociales. Le troisième montre qu'il n'y a pas de « solution unique » à la présentation d'un concept, surtout lorsqu'il est multiforme, polysémique ... comme l'énergie.

Plan de la présentation :

I - La «montée en puissance» ... du concept d'énergie (un regard sur l'histoire du concept)

II - La «montée en programmes» ... du concept d'énergie (un survol des divers programmes scolaires)

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie (des questions ... deux suggestions)

I - La «montée en puissance» ... du concept d'énergie (du côté de l'histoire)

a - Trois regards, trois approches :

- le regard mécaniste, les qualités des grandeurs d'échange ;
- le regard thermicien, et l'équivalence entre travail et chaleur ;
- le regard idéaliste, et la recherche de la conservation.

I - La «montée en puissance» ... du concept d'énergie

Des références bibliographiques essentielles (à côté de plein d'autres, bien connues ...)

- F. Halbwachs : Histoire de la chaleur (17 - sept 1980), histoire de l'énergie mécanique (18 - janv 1981): CUIDE
- T.S. Kuhn : La conservation de l'énergie, chap 4 de La tension essentielle - NRF - 1990 (orig. 1977)
- B. Brunhes: La dégradation de l'énergie -Flammarion Champs - 1991 (orig. 1909)
- R. Locqueneux : Une histoire des idées en physique - Vuibert - 2009 (ré-éd. 1989)
- E. Morin : La Méthode (I - La nature de la nature)
- Aster 2, «Éclairages sur l'énergie» - INRP - 1986

L'approche mécaniste (Descartes, Leibniz, ...)

- Stevin(ius)- 1608- pose comme évidente l'impossibilité du mouvement perpétuel ... comme «absurde» ... physique !
- Pour Descartes, «l'effet doit toujours être proportionné à l'action qui est nécessaire pour le produire ...»
- ... d'où «égalité entre travail moteur et travail résistant» !
- La loi universelle de conservation est une conséquence directe de la perfection du créateur !

Mais Descartes raisonne sur des scalaires («une quantité du mouvement»), ce que Huygens, Newton et Leibniz contestent vivement ... et introduisent la notion de «force vive» (mv^2) ... qui «mesure la puissance de la force», au contraire de la «force morte» (inertielle)

- La «mécanique analytique» de Lagrange conduit au «théorème de conservation des forces vives».

L'approche «thermicienne» (des alchimistes, à Black, Lavoisier, ...)

- la séparation nécessaire entre température (qualité repérable ... sur une échelle) et la chaleur (quantité mesurable d'échange, qui s'additionne, se conserve ...)
- la chaleur, issue du feu, est contenue dans les corps («calorique»), et prend des formes de substance, ce qui la rend mesurable
- mais la chimie (oxydations des corps) la rend impondérable (Lavoisier)
- Le caractère substantiel reste un atout essentiel lors d'échanges
- La «chaleur latente», en jeu lors de changements d'états, incline fortement vers cette matérialité ... donc le caractère conservatif.

Remarque :

Ces deux approches doivent coopérer !
... La conservation de la «force vive» (Liebniz), en particulier lors de chocs, influe sur la température des corps ;
- toute vérification de conservation demande des mesures, pas seulement une conviction !

Vers la conservation, et une approche «globalisante»

La thèse de T.S. Kuhn : le 1er Principe est dû à la convergence de deux courants «précurseurs» :

- la conviction que chaleur et travail (mécanique) peuvent s'échanger quantitativement [Carnot, Séguin, Holtzman, Hirn - 1832 à 1854]
- la manifestation d'une «force» unique, électrique, thermique, dynamique ... unique et conservative [Mohr, Grove, Faraday, Liebig - 1837 à 1844]

Vers la conservation, et une approche «globalisante»

Tous cherchent à expliquer les conversions (changements de formes) et les processus en jeu.

... et par deux approches, l'intérêt pour les machines, d'une part, la philosophie de la nature de l'autre.

L'amélioration des rendements (de machines) gouverne les premiers ; la recherche d'une «équivalence en puissance» des forces physiques pour les autres.

Une idée commune, la «conservation» ... chère à R.P. Feynman*, et H. Poincaré

Des qualités (sensibles) aux quantités
(mesurables), et des unités !

* «La loi de conservation de l'énergie ... dit qu'il y a une quantité numérique que ne change pas, quand quelque chose se produit. Ce n'est pas là une description d'un mécanisme, de quelque chose de concret ; c'est seulement un fait étrange : nous pouvons calculer un certain nombre, et quand nous avons fini d'observer la nature jusqu'au bout de ses tours de passe-passe, et que nous calculons de nouveau ce nombre, nous trouvons qu'il est le même.»

La «victoire» des énergéticiens ...

- Mayer, Faraday, Grove, Colding, font triompher la conservation ... et le Premier Principe ... ;
- Rankine, Helmholtz, Clausius, W. Thomson (Kelvin) remettent Carnot au goût du jour ... et jettent les bases de l'irréversibilité ;
- Boltzmann et Maxwell portent un regard sur les particules ...
- L'évolution (Darwin) et la dégradation (Brunhes) insistent sur l'entropie, pointant une physique «hors d'équilibre» ...

Le XXème siècle change les échelles des phénomènes ...

- L'énergie, concept intégrateur (L. Landau*)
- l'énergie, grandeur fondamentale (quantification)
- l'énergie, propriété d'un système

* «l'intégrale première du mouvement» ...

Trois conséquences globales ...

- une propriété universelle ...
- un principe de base ...
- une grandeur d'état ...

Trois approches du concept ...

- la phénoménologie (des mécaniciens, des «caloristes») ...
- la phénoméno-technie (des thermiciens et ingénieurs) ...
- l'abstraction conceptuelle («fonctionnelle») ...

... qui recoupe deux sensibilités du monde, deux approches de la physique :

- la physique décrit, explique, les interactions entre des objets, ponctuels ou étendus ...
- la physique décrit, explique, l'évolution de(s) systèmes, isolés ou en relation.

II - La «montée en programmes» ... du concept d'énergie (quelques points forts)

De l'outil au concept :

- un outil pour résoudre ...
- une grandeur variable ... à économiser,
- une grandeur utile ... à de nombreuses disciplines,
- une grandeur essentielle à la connaissance

a - Un outil pour résoudre ... des problèmes scolaires :

- l'énergie «mécanique» ($E_M = E_p + E_c$), grandeur scalaire !
- étendue aux autres domaines, électricité, thermodynamique ...
- permet des démonstrations élégantes (formalismes lagrangien ...) sans «forces» (sinon vives !)
- mais reste une entité «de physicien», dans un univers (et des valeurs essentiellement ...) de scientifiques.

a - Un outil pour résoudre ... des problèmes scolaires :

- ...prog de 1957 (classe de Mathématiques)

Energie :

- Energie potentielle, énergie mécanique d'un système ; transformations mutuelles ...
- Principe de l'état initial et de l'état final ; équivalence travail / chaleur ...
- diverses formes d'énergie ...

b - Une grandeur consommable, «à économiser» :

- dans un contexte de «crise» ...
- l'enseignant de physique aborde des grandeurs économiques ...
- l'enseignant de physique doit apprendre ... aussi aux futurs citoyens
- la physique (la science) est porteuse (garantie ?) de valeurs sociales.

b - Une grandeur consommable, «à économiser» :

- ...prog de 1978-80 (cl. de 3ème - collège):

Énergie

1. Travail et puissance mécaniques

1.1 Définition du travail d'une force (motrice ou résistante), dans le seul cas où force et déplacement sont colinéaires ...

2. Quelques exemples de transferts d'énergie

2.1. Transformation d'un travail moteur en énergie cinétique ...

2.4. Chaîne énergétique des véhicules à moteur: Carburant et air, moteur (à piston), chaleur dissipée par les gaz brûlés, ...

2.5. Production et distribution de l'énergie électrique ...

2.6. Retour sur la conservation et la dégradation de l'énergie

c - Une grandeur utile ... à plusieurs disciplines :

- dans un souci grandissant de «se centrer plus sur l'élève» ...
- l'enseignant de physique doit collaborer avec d'autres disciplines (SVT, SES, HG, ...)
- l'enseignant (de toutes disciplines...) s'adresse à de futurs citoyens
- la science est porteuse de valeurs sociales, la physique en premier («maîtresse d'œuvre»).

c - Une grandeur utile ... à plusieurs disciplines :

- ...prog de 1998 (collège) :

- lire les indications d'un compteur d'énergie électrique. - recherche documentaire : tarifs spéciaux EDF	L'énergie électrique transformée pendant une durée t par un appareil de puissance constante P est égale au produit $E = t P$. (Mathématiques : grandeur produit)	Être capable de calculer l'énergie électrique transformée par un appareil pendant une durée donnée et de l'exprimer dans l'unité du SI, le joule (J) ainsi qu'en kilowatt-heures (kWh)
--	--	--

(1) Le commentaire ci-dessous précise les conditions de cette évaluation.

Commentaires

On commence dans cette rubrique à donner une signification quantitative au concept d'énergie en mentionnant l'unité d'énergie et en reliant l'énergie électrique à d'autres grandeurs physiques. On peut noter que l'unité d'énergie est également mentionnée à propos de la valeur énergétique des aliments.

Dans le langage courant, on parle de "consommation d'énergie" et même de "consommation d'électricité". Les observations effectuées permettent d'expliquer que l'énergie ne disparaît pas mais est transformée et l'on mentionnera la nature de cette transformation.

Ministère de l'Éducation nationale (1998). Nouveaux programmes de la classe de troisième. Bulletin officiel hors série n° 10 du 15 octobre 1998.

- ...prog de 2001 (lycée) :

«La conclusion de l'analyse présentée dans le chapitre s'exprimera sous la forme suivante :
À tout système dans un état donné, on peut associer une grandeur appelée "énergie". Si l'énergie d'un système augmente ou diminue, c'est qu'il a reçu ou cédé de l'énergie, que ce soit par travail, par transfert thermique ou par rayonnement.»

E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

23

d - Une grandeur fondamentale pour la connaissance :

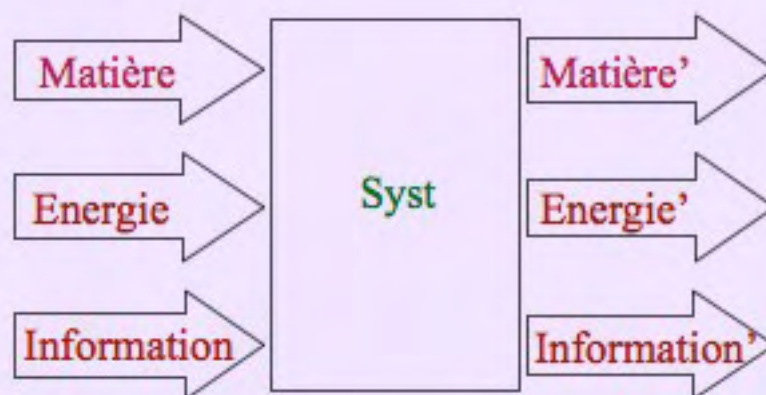
- la place de l'économie devient de plus en plus importante («mondialisation» ?) ...
- la science enseignée (dont la physique) résonne d'approche systémique (Edgar Morin)*
- les sciences décrivent des systèmes, dans leurs évolutions (et dégradation), dans leurs échanges, de matière, d'information ... et d'énergie
- et cette approche fonctionne au travers de modèles

* Notion de flux ... cf dia suivante

E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

24

d - Une grandeur fondamentale pour la connaissance :



Trois flux ... qui traversent un système, avec une possibilité de rétro-action

E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

25

d - Une grandeur fondamentale pour la connaissance :

Extraits des titres - Projets de programmes 2011 (1ère et Term Sciences)

Comprendre : Lois et modèles

Temps, mouvement et évolution ...

Structure et transformation de la matière ...

Énergie, matière et rayonnement ...

Transmettre et stocker de l'information ...

E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

26

d - Une grandeur fondamentale pour la connaissance :

... mais aussi de l'école (prog 1995)

	Cycle 1 Découvrir le monde	Cycle 2 Découverte du monde	Cycle 3 Sciences et Technologie
MATIÈRE - MATÉRIALUX	- La matière existe sous plusieurs « états » - une propriété qualifie un état	- Le gaz est un état différent du vide - On peut affecter un nombre à une grandeur	- Des grandeurs dépendent d'autres grandeurs - On peut faire passer une substance par « tous ses états »
ESPACE - TEMPS	- La droite, la gauche ... dépendent de soi	- Je suis dans un monde ... où je ne suis pas seul - La hauteur est une dimension comme les autres	- Le monde est plus grand que ce qu'on en perçoit (espace et temps) - On peut avoir besoin d'autres unités que celles qui sont habituelles
ÉNERGIE	- il faut fournir quelque chose pour « faire » - Plusieurs causes pour plusieurs effets	- La température, c'est celle d'un corps	- Plusieurs causes pour un même effet (et réciproquement) - L'énergie se paie ... parfois cher !
INFORMATION	- Des ordres doivent être « ordonnés »	- Entrer en communication, c'est échanger - Une information peut être rendue visible	- On a besoin de plusieurs échelles de temps - Un objet complexe peut être décrit simplement, dans son principe

E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

27

III - L'acquisition du..., les obstacles au ... concept d'énergie (avantages, inconvénients réciproques)

30 ans de travaux de didactique ... ?

- de la part des élèves et étudiants ;
- du côté des contenus enseignés ;
- et du côté des enseignants ?

E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

28

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

- * Pour les élèves: La naissance d'un besoin ... qui n'est pas évident !

Comment dépasser les réactions sensibles (provenant des sens) ? ... et les obstacles linguistiques ? (polysémie, langage courant ...)

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

- Les difficultés de l'approche «phénoménologique» ... :
 - exemple de la distinction chaleur / température ...
 - les obstacles «épistémologiques» (substance, animisme ...)

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

* Les avantages ... et difficultés d'une approche «phénoméno-technique» ...:

- le second principe (l'irréversibilité et la «dégradation» ...) ...
- l'impossibilité du mouvement perpétuel ... (l'oiseau buveur ...)

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

TEST partiel - Partie Didactique de l'UE

Vous avez déjà vu «l'oiseau buveur» ...: il se penche pour boire dans le verre, puis se relève ... et se remet à boire ... sans discontinuer. Il suffit de l'avoir lancé une fois, pour qu'il continue sans cesse. Cette situation est un peu paradoxale!



Q 1 a): En quoi y a-t-il «paradoxe» (contradiction apparente) avec la physique que vous connaissez?

Q 1 b): Parmi les obstacles (épistémologiques et autres ...) présentés dans le cours, lequel attribuez-vous à cette situation?

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

* La nécessité de modéliser :

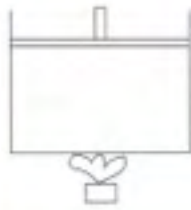
- les «chaînes» énergétiques (pour les échanges) ...
- la quantification (mesures, unités, rendements ...) pour la conservation
- ...

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

* Les contraintes d'une approche systémique («avoir un point de vue global» ? ... ou sortir du carcan cartésien ?)

--> dépasser la causalité linéaire ?

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie



Chauffage (quasistatique ?) d'un gaz parfait sous pression constante : le volume et la température augmentent. Expliquez pourquoi.

la causalité linéaire ?

Explication courante : 43 % (N= 120 ?)

apport de Q → Q / → T / → p / → V /

Résumé d'explication correcte

$$\left. \begin{array}{l} Q \text{ (fournie au gaz)} = c_p \Delta T \\ \text{et } Q > 0 \\ \text{et } c_p > 0 \end{array} \right\} \rightarrow \left[\begin{array}{l} \Delta T > 0 \\ \text{et} \\ PV = NRT \\ \text{et} \\ p, N, R : \text{constants} \end{array} \right] \rightarrow \Delta V > 0$$

extrait de L. Viennot, 1992, «Enseigner la Physique», de Boeck éd.

E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

35

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

* Interroger les «démarches» (scientifiques ? pédagogiques ? ...) et la place de chacun, élève, enseignant, chercheur ... :

- les expériences (rôle et place ?)
- la modélisation (fonction et responsabilité ?)

E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

36

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

- les expériences ?

... qui tiennent plus de la validation des convictions (la «monstration»...) que de la recherche de la pertinence des paramètres (cf. thèse K. Robinault - 1998)

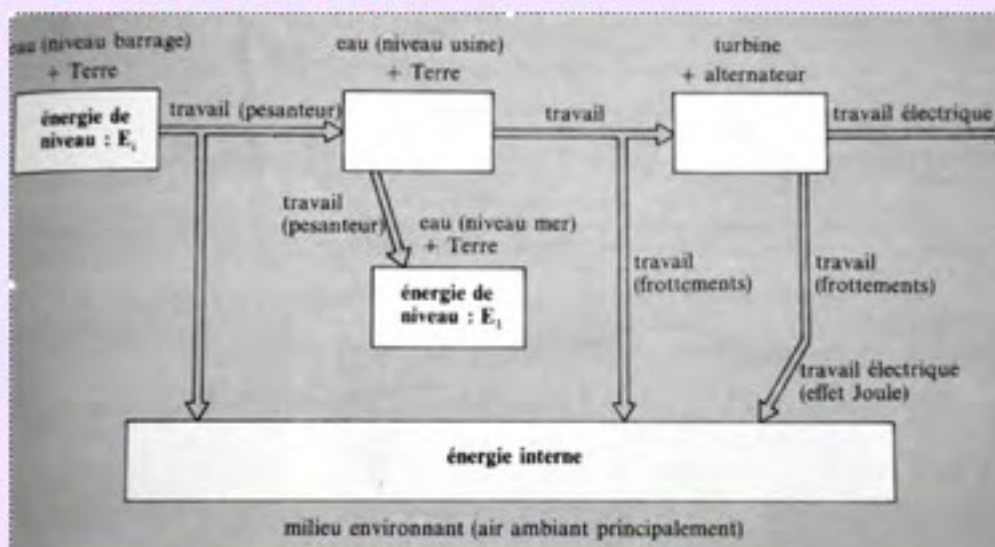


E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

37

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

- la modélisation ?



Chaîne énergétique pour une centrale hydraulique

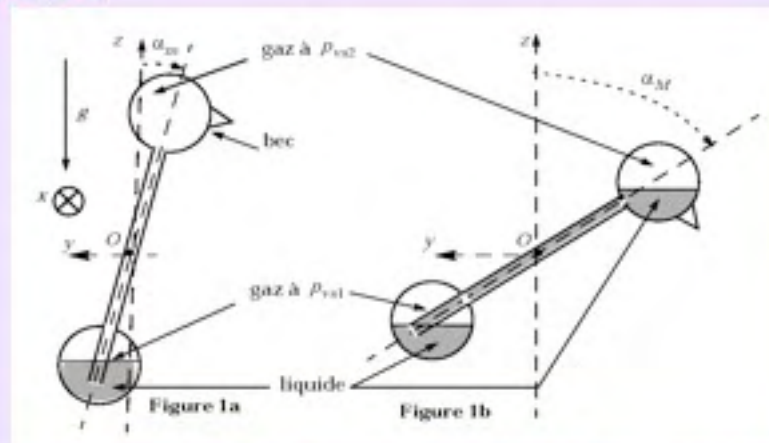
extrait de Livre du professeur - 3è - Coll. Libre parcours. Hachette 1980

E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

38

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

- la modélisation ?



... qui reste très souvent de la responsabilité de l'enseignant, issue de la recherche ou de la transposition

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

Alors ... ??

Des (deux) propositions ...

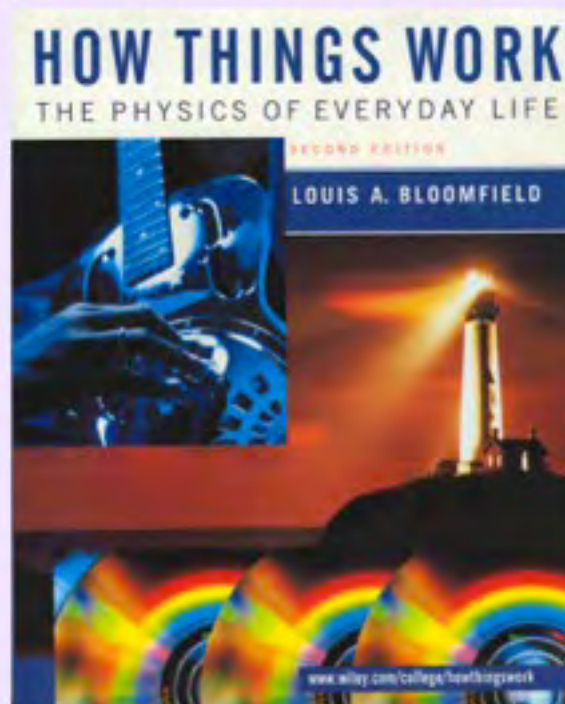
III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

1 - Garder en mémoire que «toute connaissance scientifique est la réponse à un problème ...» (Gaston Bachelard)

--> aller chercher dans des ouvrages «non scolaires» ... des problèmes à résoudre !

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

--> voire même dans des ouvrages d'enseignement (supérieur ici) ... des problèmes du quotidien



E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

43

III - L'acquisition du, les obstacles au ... concept d'énergie

2 - Se placer dans une démarche «curriculaire» ... (G. de Lansheere)

« Un curriculum est un ensemble d'actions planifiées pour susciter l'instruction, comportant :

- les objectifs,
- les contenus,
- les méthodes,
- les matériels,
- les dispositions relatives à la formation des enseignants »

Introduction à la recherche en éducation (1992) - A. Colin

E2Phy - Grenoble - 24 Août 2011

44

- Une conclusion ?

Intégrer que ...

«on n'a rien sans rien» ...

«toute chaîne mérite solaire» ...

Je vous remercie de votre écoute patiente