

COMPRENDRE L'ÉNERGIE POUR PRÉPARER LE CONCOURS DE RECRUTEMENT DES PROFESSEURS DES ÉCOLES (CRPE) ET POUR ENSEIGNER À L'ÉCOLE

Jean-Michel ROLANDO

Professeur de Sciences Physiques - IUFM de Grenoble

Jean-Claude GUILLAUD

Professeur de Sciences Physiques - IUFM de Grenoble

Depuis quelques années, les sujets de l'épreuve de sciences expérimentales et technologie du CRPE accordent une place relativement importante aux questions faisant appel au concept d'énergie. C'est compréhensible si l'on se réfère aux enjeux géopolitiques actuels et à l'importance des choix énergétiques à réaliser. Sans vouloir nous mettre à la place des concepteurs des sujets, on peut penser qu'ils estiment important que de futurs enseignants aient une maîtrise scientifique du sujet qui pourra les amener, en tant que citoyens, à participer au débat en connaissance de cause et, en tant que futur professeur d'école (PE), à initier leurs propres élèves en s'appuyant sur des connaissances et non sur une idéologie.

Nous ne pouvons que partager ce point de vue, d'autant que notre expérience de formateur et de correcteur nous montre à quel point les étudiants sont démunis pour traiter scientifiquement ces questions, comme le demande l'arrêté du 6 janvier 2010 définissant la nature et les exigences de l'épreuve : « *L'épreuve vise à évaluer la maîtrise des principales connaissances scientifiques et technologiques nécessaires pour enseigner à l'école primaire ainsi que la capacité à conduire un raisonnement scientifique. » Le texte est clair : on n'attend pas des candidats un discours général et approximatif sur les choix et les enjeux énergétiques. On leur demande des connaissances scientifiques précises dans le domaine de l'énergie.*

Le but de cet article est de tenter de « mettre de l'ordre » dans les questions scientifiques sur l'énergie, en proposant aux étudiants, aux PE, voire aux formateurs, une mise au point sur le concept d'énergie, en la cantonnant toutefois aux exigences de l'actuel CRPE telles qu'elles transparaissent à la lecture des sujets de concours.

L'énergie, telle que nous la présentons ci-dessous, est une grandeur qui présente un certain nombre de caractéristiques. Nous allons en développer trois en nous appuyant sur une

analogie hydraulique et sur des exemples issus de la vie quotidienne¹ : l'énergie se « conserve » ; elle peut être « stockée » dans des « systèmes » où elle prend différentes « formes » ; elle peut se « transférer » d'un système à un autre.

Les étudiants, comme les PE, sont d'autant plus démunis qu'il n'existe pas, ou très peu, de références (livres ou articles) sur lesquelles ils pourraient s'appuyer pour comprendre le concept d'énergie compte tenu de leur niveau scientifique initial. Si l'on se réfère aux annales de l'épreuve du CRPE mais aussi aux manuels, on s'aperçoit qu'il y a un foisonnement de conventions², très différentes selon les auteurs, qui, très certainement, troublent les étudiants et les PE d'autant plus qu'elles ne sont que rarement explicitées.

Cet article est donc résolument tourné vers la mise au point d'une notion difficile enseignée à l'école. En ce sens, il pourra aider tous les enseignants qui abordent ce domaine avec leurs élèves tout particulièrement dans l'adoption d'une terminologie plus rigoureuse. Cependant, nous ne ferons pas de proposition pédagogique ici, reportant cela à un éventuel futur projet.

Puissance et énergie : des concepts liés

Des définitions qui n'éclairent guère...

Richard Feynman, qui fût prix Nobel de physique, et qui est connu aussi par ses ouvrages de physique affirme dans le Tome 1 de son cours de Mécanique : « *Il est important de réaliser que dans la physique d'aujourd'hui, nous n'avons aucune connaissance de ce qu'est l'énergie* ». Il explique cependant plus loin que « *des formules permettent de calculer une certaine quantité numérique* » (Feynman, 1979, p. 43). Savoir, par exemple, qu'on appelle énergie cinétique d'un corps une grandeur proportionnelle à la masse et au carré de sa vitesse n'aide guère à se faire une représentation de cette grandeur. Il en va ainsi des définitions de l'énergie : elles n'éclairent guère la compréhension d'un lecteur non scientifique. Il y a eu une tentative, dans les « Fiches connaissances » accompagnant les programmes de 2002³ précisant que « *l'utilisation d'une source d'énergie est nécessaire pour chauffer, éclairer, mettre en mouvement* ». Cette phrase est exacte, mais notons d'une part qu'elle distingue avec prudence la « source d'énergie » du concept d'énergie lui-même, et d'autre part, qu'elle ne donne pas de définition de l'une ni de l'autre. Au demeurant, cette formulation n'est pas critiquable en elle-même : elle permet de se doter d'une première représentation qui peut certainement aider un professeur d'école. Mais on pourrait dire la même chose de la force. Si, par exemple, je pousse ma voiture en panne, je réussis à la mettre en mouvement. Si j'appuie sur les pédales de ma bicyclette alors que la génératrice (la dynamo) est en prise sur le pneu, je fais ainsi briller les feux de mon véhicule. Et si je ponce un morceau de bois à l'aide de papier de verre, le frottement produit de la chaleur. Ainsi, grâce à la force que j'exerce sur tel ou tel objet, je réussis à produire du mouvement, de la lumière ou de la chaleur.

¹ Capteur solaire, chauffage au gaz, fusion d'un glaçon, centrales électriques, ...

² Par exemple, pour représenter les « systèmes » qui stockent, transfèrent ou transforment l'énergie ou encore pour nommer les différentes « formes » d'énergie stockées, transférées ou transformées.

³ *Documents d'accompagnement des programmes – Fiches connaissances – Cycles 2 et 3*. MEN, SCEREN, 2002, p. 29.

Il est gênant qu'une définition ne permette pas de distinguer deux concepts. Retenons simplement que les définitions disponibles ne permettent pas de se doter d'une représentation mentale aisée du concept d'énergie. Nous proposons dans cet article une démarche qui permet d'y parvenir en cumulant les exemples et en identifiant ce qu'ils ont en commun, au-delà de leurs différences.

La puissance : une notion assez intuitive

On peut se faire une assez bonne représentation de ce qu'est la puissance d'un appareil : c'est un nombre, exprimé en watts, qui donne une indication sur son efficacité. Prenons des exemples :

- L'utilité d'un four de cuisine est de chauffer et cuire les aliments. Un four de 3000 W est plus efficace (c'est-à-dire chauffe plus) qu'un four de 2000 W. Il est plus puissant. La puissance (l'efficacité) d'un four est mesurée par son « nombre de watts ».
- Une ampoule de 100 W est plus puissante qu'une ampoule de 60 W : elle éclaire davantage.
- Un moteur de 75 kW (soit 75 000 W) est plus puissant qu'un moteur de 50 kW. Si l'on compare deux voitures équipées de tels moteurs, la voiture possédant le moteur de 75 kW aura une meilleure reprise, gravira les côtes plus aisément, que celle dont le moteur n'est que de 50 kW (à condition que les deux véhicules soient identiques par ailleurs).
- L'alternateur d'un barrage hydroélectrique de 75 MW (soit 75 000 000 W) comme celui de Génissiat, sur le Rhône, fournit moins d'énergie électrique que l'alternateur d'une centrale nucléaire de 1300 MW comme celui de Bugey.

L'énergie : une notion dépendant de la puissance et du temps

Considérons, pour comprendre cela, l'exemple de la consommation électrique d'un logement. Son utilisateur laisse allumer une lampe de 100 W pendant 1h. Cela occasionne un certain coût qui est proportionnel à l'énergie électrique qu'il a consommée⁴. Un autre jour, le même consommateur laisse allumer une ampoule de 50 W pendant 2h. On conçoit aisément que le coût de l'opération est identique. Enfin, un troisième jour, notre expérimentateur fait briller la première ampoule de 100 W pendant 2h. Ça lui reviendra deux fois plus cher.

Cet exemple permet d'induire une relation entre puissance (P), énergie (E) et durée de fonctionnement (t) :

$$E = P \times t$$

L'énergie est une grandeur « cumulative » : elle dépend non seulement de la puissance de l'appareil utilisé, mais aussi de la durée d'utilisation. Plus un appareil fonctionne longtemps, plus il consomme de l'énergie. La puissance est une grandeur « instantanée » : elle rend compte, redisons-le, de l'efficacité du dispositif.

⁴ Nous ne considérons que la consommation électrique, en faisant abstraction du coût de l'abonnement et nous supposons que les deux expériences sont réalisées dans les mêmes tranches horaires, en cas d'abonnement distinguant les heures pleines et les heures creuses par exemple.

En mettant la relation ci-dessus sous la forme $P = \frac{E}{t}$, on comprend que la puissance représente l'énergie consommée par unité de temps.

La puissance est donc un débit d'énergie.

D'après ce que nous venons de voir, lorsqu'on exprime une puissance, il n'y a pas à dire « en combien de temps ». Si tel appareil a une puissance de 1 000 W : il n'y a rien d'autre à préciser.

Arrêtons-nous cependant sur une erreur fréquente à partir d'un exemple d'actualité. La consommation électrique en France a battu un record lors de la période de grand froid du mois de février 2012. « *Un pic de consommation de plus de 100 GW a été atteint le 8 février vers 19 h⁵* ». Certains médias ont cru bon d'expliquer qu'il s'agissait de la consommation journalière et l'ont illustré avec des graphiques sur lesquels l'unité indiquée était le GW / jour. C'est une grossière erreur. L'interprétation correcte est que le 8 février 2012, à 19 h, la somme des puissances des appareils électriques simultanément en fonctionnement en France, s'élevait à 100 GW.

Des problèmes de réservoirs et de robinets pour comprendre le stockage et le transfert de l'énergie

Avant de progresser sur la voie de la compréhension du concept d'énergie, fondons-nous sur une analogie très simple, mais porteuse de sens. Les analyses énergétiques que nous aurons à mener tout au long de cet article présentent une forte analogie avec des problèmes simples de réservoirs d'eau munis d'une arrivée ou / et d'un départ et qui, selon le cas, se vident ou se remplissent. Commençons donc par cela.

Exemple 1

Imaginons un réservoir muni d'une arrivée d'eau mais sans évacuation.

La quantité d'eau dans le réservoir augmente.

On note :

t : durée pendant laquelle coule l'eau (par exemple en h)

D : débit d'arrivée d'eau (en m³/h)

La conservation de la matière, ici l'eau, est exprimée par la

relation : $V_{\text{eau qui arrive}} = D \times t$

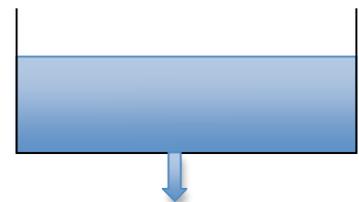
$V_{\text{eau qui arrive}}$: il correspond aussi à l'augmentation du volume d'eau dans le réservoir (par exemple en m³).



Exemple 2

De manière analogue, on peut imaginer un réservoir muni uniquement d'une évacuation ouverte.

Le réservoir se vide. La quantité d'eau diminue.



⁵ Le gigawatt (GW) équivaut à 1 milliard de watts.

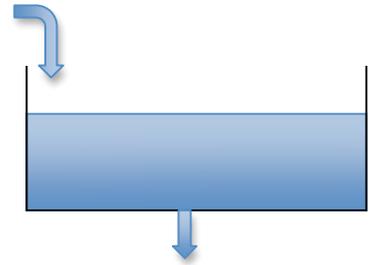
Le niveau d'eau dans le réservoir baisse. Il y a la même relation entre la diminution du volume d'eau, la durée de l'écoulement et le débit de celui-ci.

$$V_{\text{eau qui s'écoule}} = D \times t$$

Exemple 3

Voyons un troisième cas plus complet.

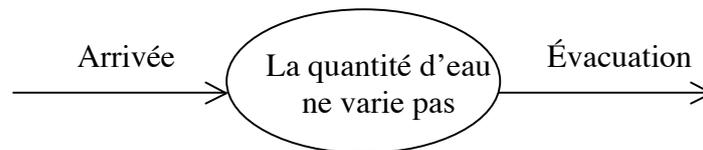
Le réservoir est à moitié plein. Le robinet est ouvert ainsi que l'évacuation. Le débit d'arrivée d'eau est égal au débit de l'évacuation.



Que peut-on dire de la quantité d'eau contenue dans le réservoir ?

Dans la mesure où, à chaque instant, la quantité d'eau qui arrive compense exactement la quantité d'eau qui sort du réservoir, nous pouvons affirmer que la quantité d'eau du réservoir ne variera pas. Le niveau de l'eau dans le réservoir restera constant. Ce raisonnement se fonde sur le fait que la matière ne disparaît pas ou n'apparaît pas spontanément. On dit qu'il y a conservation de la matière.

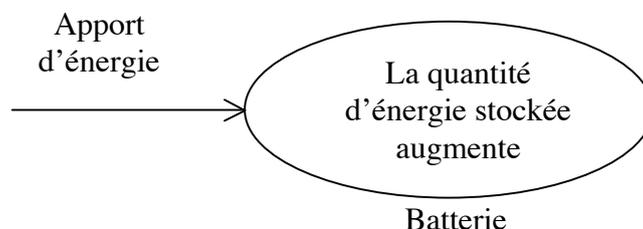
Nous pouvons maintenant simplifier nos schémas. Il serait lourd de représenter systématiquement des bassins et des tuyaux. Adoptons à la place une convention plus épurée proche de celle qui sera utilisée pour l'énergie.



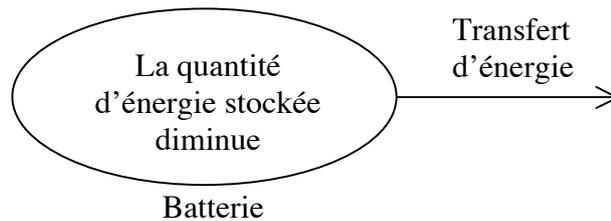
D'autres exemples

On peut établir des analogies entre les exemples analysés ci-dessus, de réservoirs qui se remplissent, se vident ou conservent la même quantité d'eau, avec des situations dans lesquelles il y a des transferts d'énergie (apport d'énergie ou perte d'énergie) et de l'énergie stockée dont la quantité peut varier.

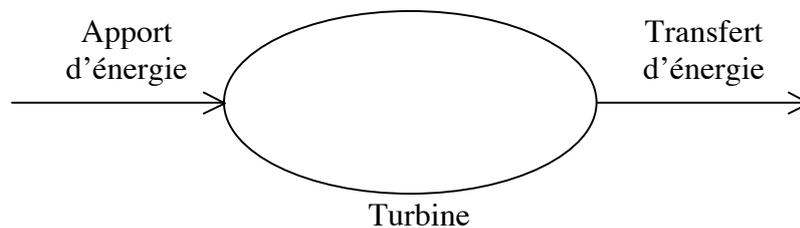
- Une batterie est en charge : de l'énergie arrive, la quantité d'énergie stockée dans la batterie augmente



- Une batterie débite : elle fournit de l'énergie, la quantité d'énergie stockée diminue.



- Une turbine est en train de fonctionner : de l'énergie arrive, la même quantité d'énergie repart, aucune énergie n'est stockée dans la turbine.



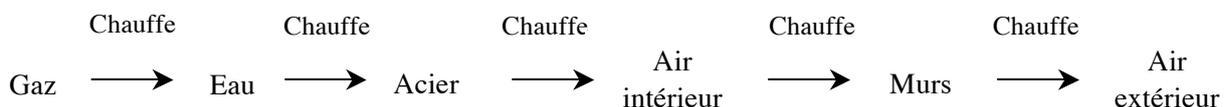
Nous reprendrons ces exemples plus en détail. Mais nous pouvons d'ores et déjà comprendre l'analogie qui nous guidera tout au long de cet article.

Des verbes d'action, des flèches et des « objets » pour comprendre les transferts d'énergie

Un exemple simple de transfert d'énergie thermique

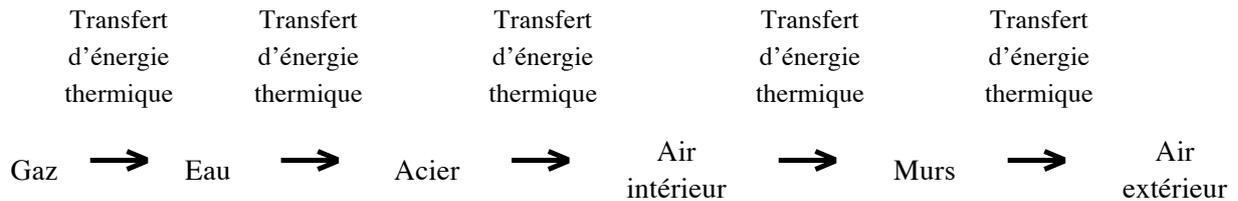
Imaginons la situation suivante : une chaudière à gaz chauffe de l'eau qui circule jusqu'à un radiateur en acier ; celui-ci chauffe la pièce, et, au-delà, l'air extérieur (car l'isolation des logements n'est jamais parfaite). Nous concevons assez intuitivement que nous utilisons une source d'énergie (le gaz⁶), et que l'énergie thermique produite par sa combustion se propage, de proche en proche, jusqu'à l'air extérieur.

Nous pouvons symboliser ce déplacement, de la manière suivante, en utilisant des termes du vocabulaire courant :



⁶ On peut noter, mais cela dépasse le niveau de cet article, que ce n'est pas simplement le gaz qui possède de l'énergie, mais le système « gaz + oxygène de l'air nécessaire à sa combustion ».

Nous pouvons aussi utiliser le vocabulaire scientifique et, à l'aide d'un symbolisme analogue, écrire :



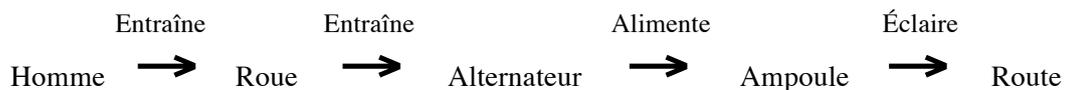
Que retenir de cet exemple ?

- L'énergie est une grandeur qui se déplace dans l'espace : on dit qu'elle se « transfère ».
- Le gaz, l'eau, l'acier, l'air, etc., sont ce que les physiciens appellent des « systèmes matériels ». Ce sont des objets (au sens large du terme) comme les murs, ou des matières comme l'air ou l'acier du radiateur. Le terme de système, largement utilisé en sciences, ne doit pas être pris pour un terme abstrait qu'on utiliserait lorsqu'on ne trouverait pas de terme adéquat... Un système est la délimitation mentale d'un objet, d'une partie d'un objet, d'un ensemble d'objets ou d'une certaine quantité de matière. Dans tous les cas, un système est matériel. On doit pouvoir le définir en indiquant les objets, parties d'objet ou les matières qui le constituent.
- Le terme « transfert d'énergie thermique » rappelle qu'on a de l'énergie en déplacement entre deux systèmes et donne une indication sur la nature thermique de ce transfert. Pour aider à se faire une représentation de ce transfert d'énergie thermique, nous l'avons associé au verbe « chauffer ».

D'autres exemples de transfert d'énergie

Voici une autre situation : un homme pédale sur une bicyclette. Grâce à son alternateur⁷ qui frotte contre la roue⁸, l'ampoule de son phare s'allume et éclaire la route.

En utilisant la même approche, nous aboutissons, dans un premier temps, à la représentation suivante, qui n'utilise que du vocabulaire courant.



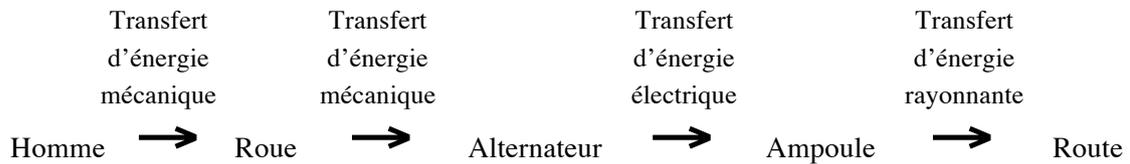
Cet exemple illustre une autre série de différents transferts et de transformations d'énergie. Comme dans l'exemple précédent, les verbes, situés au-dessus des flèches, s'efforcent de fournir une représentation intuitive des modalités par lesquelles ce transfert s'effectue. Le verbe « entraîner » illustre un transfert qui met en jeu des forces qui se déplacent. Nous l'appellerons « transfert d'énergie mécanique ». Le verbe « alimenter » illustre un « transfert d'énergie électrique ». Et le verbe « éclairer » traduit un « transfert d'énergie

⁷ Il s'agit du dispositif qu'on nomme souvent à tort « dynamo ». Le terme exact est « alternateur ». On peut aussi utiliser le terme « génératrice ».

⁸ Ce système est maintenant dépassé par des techniques plus modernes. Nous l'utilisons à des desseins didactiques...

lumineuse » ou, mieux, « transfert d'énergie rayonnante ». Les lecteurs ayant étudié la physique jusqu'au lycée se souviennent peut-être que la lumière n'est qu'un cas particulier d'un ensemble plus vaste qui constitue l'ensemble des ondes électromagnétiques. Il n'est pas nécessaire d'approfondir ce point au niveau où se situe cet article.

Finalement, en employant le vocabulaire scientifique, nous aboutissons à la représentation suivante :

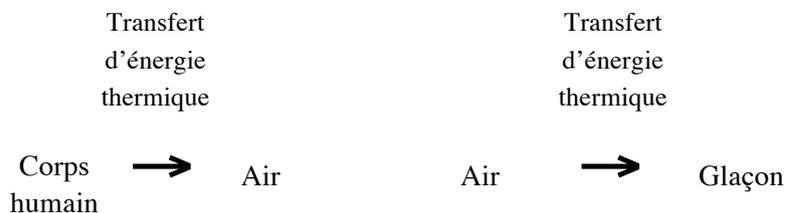


Résumé : les différentes modalités par lesquelles l'énergie peut se transférer

En reprenant les propositions développées dans Agabra et *al.* (1980), puis par Lemeignan et Weil-Barais (1993), nous retiendrons que l'énergie peut se transférer selon quatre modalités différentes, et seulement quatre.

Le transfert d'énergie thermique auquel il faut penser chaque fois que l'on a envie d'utiliser le verbe « chauffer »

Voici deux autres exemples : le corps humain étant à une température supérieure, en général, à l'air qui l'entoure, il y a en permanence un transfert d'énergie thermique qui va du corps à l'air. De manière symétrique, lorsqu'un glaçon fond dans une pièce tempérée, il y a transfert d'énergie thermique qui va, cette fois, de l'air vers le glaçon.



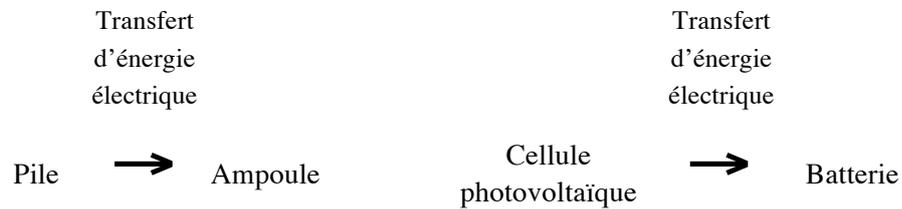
Le transfert d'énergie mécanique auquel il faut penser chaque fois que l'on a envie d'utiliser le verbe « entraîner »

Autres exemples : un moteur qui monte une charge ; l'hélice d'une éolienne qui entraîne l'alternateur (il s'agit d'un maillon d'une chaîne de production d'énergie électrique plus complète sur laquelle nous reviendrons).



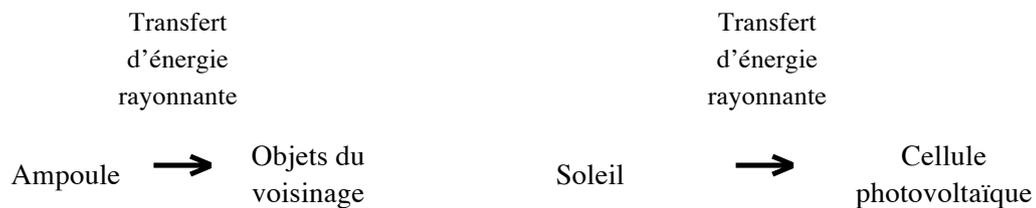
Le transfert d'énergie électrique auquel il faut penser chaque fois que l'on a envie d'utiliser le verbe « alimenter »

Exemples : une pile qui alimente une ampoule ; une cellule solaire (ou cellule photovoltaïque) qui charge une batterie.



Le transfert d'énergie rayonnante auquel il faut penser chaque fois que l'on a envie d'utiliser le verbe « éclairer »

Dans le cadre d'une première analyse, disons que ce transfert d'énergie rayonnante est émis par les objets lumineux comme une ampoule qui éclaire des objets de son voisinage ou comme le Soleil qui éclaire une cellule photovoltaïque (cellule solaire).



La conservation de l'énergie : un grand principe

Introduction analogique

Comme tout principe, la conservation de l'énergie est un postulat, au sens où c'est une proposition faite par les physiciens dont on fait l'hypothèse qu'elle est toujours vérifiée.

Revenons un instant sur les histoires de réservoirs et de tuyaux qui les mettent en communication.

Dans les tuyaux, circule de l'eau. Il est évident pour tout le monde que cette eau vient de quelque part (un réservoir situé en amont), et s'en va autre part (un réservoir situé en aval). Il n'y a aucune apparition ou disparition spontanée d'eau. Tout au plus, de l'eau peut s'échapper de notre circuit hydraulique et se retrouver hors des réservoirs en cas de fuites. Plaçons-nous dans le cas où celles-ci ne se produisent pas, et envisageons les quelques exemples suivants.

Exemple 1 : un réservoir muni d'une arrivée d'eau sans évacuation

Dans cet exemple, nous pouvons dire qu'en un certain temps, l'augmentation de la quantité d'eau dans le réservoir est exactement égale à la quantité d'eau ayant transité par le tuyau d'arrivée :

$$\begin{aligned} & \text{Quantité d'eau circulant dans le tuyau en un temps } t \\ & = \text{augmentation de la quantité d'eau dans le réservoir pendant le même temps} \end{aligned}$$

Exemple 2 : un réservoir muni d'une évacuation mais sans arrivée d'eau

D'une manière tout aussi logique que précédemment, la conservation de la matière s'exprime par :

Diminution de la quantité d'eau dans le réservoir en un temps t

= quantité d'eau circulant dans le tuyau pendant le même temps

Exemple 3 : Un réservoir avec une arrivée d'eau et une évacuation

Variation de la quantité d'eau dans le réservoir en un temps t

= quantité d'eau entrant – quantité d'eau sortant pendant le même temps

Exemple 4 : Deux réservoirs qui communiquent par un tuyau

Augmentation de la quantité d'eau dans le réservoir 2 pendant un temps t

= diminution de la quantité d'eau dans le réservoir 1 pendant le même temps

Ceci nous amène à postuler une analogie.

Nous avons vu que l'énergie peut se transférer d'un système à un autre. L'idée, finalement très logique, est que l'on ne peut transférer que ce que l'on possède.

Ainsi, par postulat, nous admettons que l'énergie est une grandeur qui peut se stocker dans des « réservoirs » et se transférer d'un « réservoir » à un autre. Ce faisant, la quantité d'énergie présente dans les réservoirs peut diminuer ou augmenter selon le cas. Mais il n'y a ni perte ni gain d'énergie. Si un réservoir voit sa quantité d'énergie baisser, c'est qu'il en a transféré à un autre réservoir. S'il voit sa quantité d'énergie augmenter, c'est qu'il en a reçu d'un autre réservoir.

Énoncé du principe de conservation

Il s'énonce très simplement de la manière suivante :

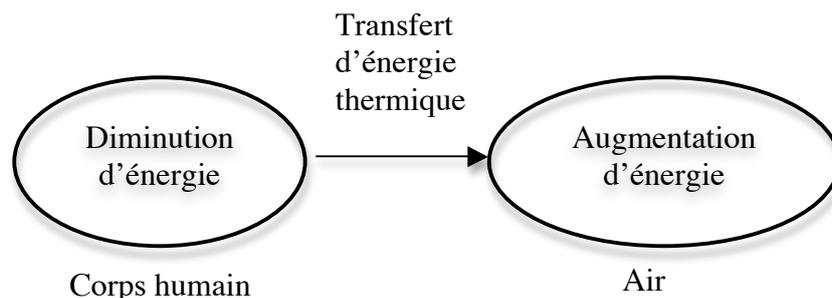
- L'énergie ne se crée pas et ne disparaît pas.
- Si un système perd ou gagne de l'énergie, c'est qu'il en a cédé ou reçu d'un autre système.

Applications et implications

Revenons, pour les compléter, sur quelques exemples évoqués dans les paragraphes qui précèdent.

Le corps humain transfère de l'énergie thermique à l'air ambiant.

Complétons le schéma réalisé précédemment de la manière suivante :



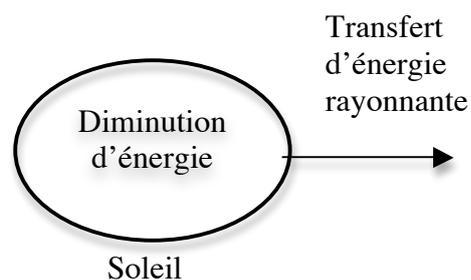
Nous représenterons chaque système par une « bulle » dont le nom figure en dessous. Chaque transfert d'énergie, comme précédemment, est représenté par une flèche. Puisque l'on ne peut transférer que ce que l'on possède, on admet que le corps humain possède de l'énergie (elle sera caractérisée dans un paragraphe ultérieur). Ainsi, à l'intérieur de chaque bulle, on donnera des indications appropriées, nous verrons lesquelles, sur l'énergie qu'elle contient.

Ici, nous pouvons être sûrs de plusieurs choses : puisque le corps humain transfère de l'énergie vers l'air ambiant, c'est qu'il en possédait auparavant ; puisque le corps humain cède de l'énergie, c'est que la quantité totale d'énergie qu'il possède diminue ; puisqu'il y a un transfert d'énergie vers l'air ambiant, c'est que la quantité totale d'énergie de l'air ambiant augmente.

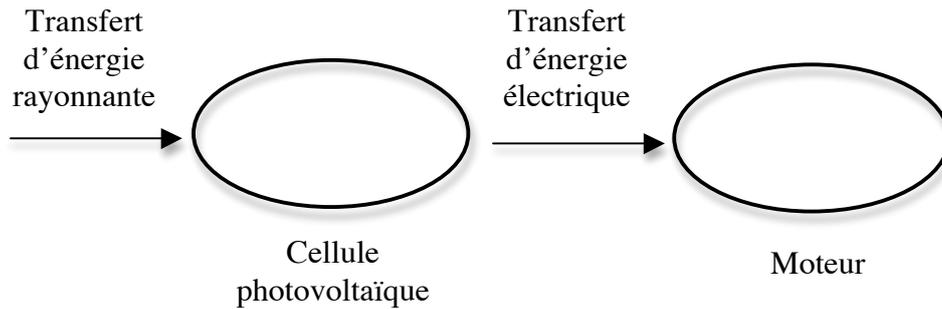
Nous venons ici de faire une traduction scientifique d'une situation que tout le monde connaît au moins partiellement : le corps humain stocke de l'énergie (en langage courant, on parle par exemple de réserves nutritives) ; nous savons aussi que ces réserves, si elles ne sont pas reconstituées par l'alimentation, s'épuisent (traduction du fait que l'énergie contenue dans le corps humain diminue). Ce que peut nous apprendre cette analyse, c'est que, dans le même temps, la quantité totale d'énergie contenue dans l'air ambiant augmente. Nous ne pouvons pas facilement le mesurer, la dilution est trop importante. Mais la logique du principe de conservation de l'énergie rend cette conclusion indiscutable, même si nous ne le voyons pas, même si nous ne le mesurons pas.

Le cas du Soleil

Envisageons maintenant le cas du Soleil et effectuons le même raisonnement que précédemment, fondé sur le principe de conservation de l'énergie. Puisque le Soleil transfère en permanence de l'énergie rayonnante, nous pouvons affirmer que sa quantité totale d'énergie diminue. Ce raisonnement est élémentaire et, au niveau où se situe cet article, peut-être donne-t-il l'impression d'être purement formel. Pourtant, c'est en mesurant la quantité d'énergie émise par le Soleil que nous pouvons calculer qu'il perd régulièrement de la masse et, par la même occasion, que nous sommes capables de calculer dans combien de temps il cessera de briller. Les modalités du calcul sortent du cadre de cet article, mais ses grandes lignes sont accessibles à un élève de fin de lycée.



Imaginons maintenant qu'une photopile soit placée sur le trajet de la lumière solaire et, donc, qu'elle intercepte une partie de l'énergie rayonnante provenant du Soleil. Imaginons également que cette photopile soit utilisée pour faire fonctionner un moteur (par exemple, une pompe destinée à remonter l'eau d'un puits). Nous représenterons donc conventionnellement la situation ainsi :

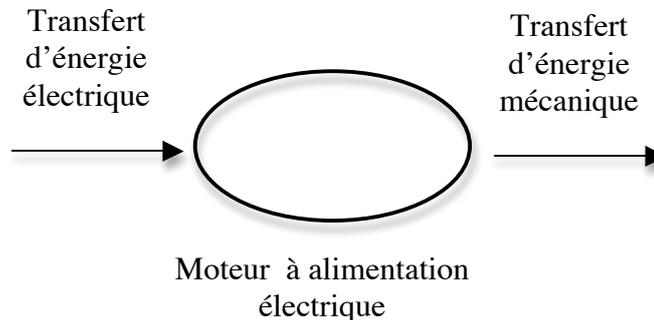


Intéressons-nous à la photopile (cellule photovoltaïque) et demandons-nous si elle stocke de l'énergie. Pour cela, imaginons qu'on lui fasse de l'ombre. De manière instantanée, le moteur va cesser de fonctionner. La cellule photovoltaïque ne peut alimenter le moteur que si elle reçoit elle-même de l'énergie rayonnante. Si cet apport cesse, l'alimentation du moteur cesse. C'est donc la preuve que la cellule photovoltaïque ne stocke pas d'énergie. Elle n'est qu'un « transformateur » d'énergie. Elle reçoit une énergie d'un certain type et la transforme en une énergie d'un autre type.

La cellule photovoltaïque n'est pas le seul exemple de transformateurs d'énergie. Voici d'autres exemples.

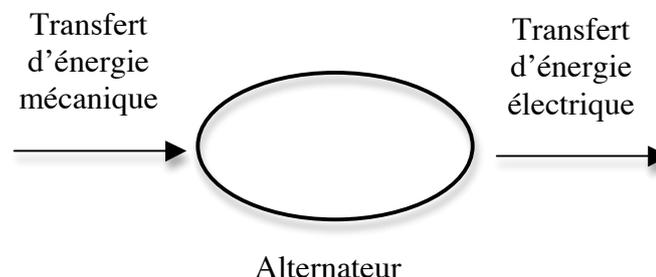
Le moteur électrique

Un moteur électrique reçoit de l'énergie électrique et cède de l'énergie mécanique (par exemple pour soulever une charge). Il ne stocke rien lui-même.



Un alternateur

Un alternateur reçoit de l'énergie mécanique et cède de l'énergie électrique. Il ne stocke rien lui-même.



Pour résumer...

Nous venons de voir que certains systèmes stockent de l'énergie (le Soleil, le corps humain, une batterie, l'air ambiant ou l'environnement...). Nous dirons que ce sont des « réservoirs d'énergie ». Nous avons vu également que de l'énergie peut se transférer

d'un réservoir à un autre. Nous avons distingué quatre modalités auxquelles nous avons attribué une terminologie spécifique :

- transfert d'énergie thermique
- transfert d'énergie électrique
- transfert d'énergie mécanique
- transfert d'énergie rayonnante

Ce vocabulaire est sans doute un peu lourd, mais, en débutant systématiquement par « transfert d'énergie... », nous mettons explicitement l'accent sur cette caractéristique : il s'agit d'une énergie « en transit » entre deux systèmes.

La terminologie scientifique est, hélas, assez peu stabilisée, et les scientifiques eux-mêmes utilisent des synonymes dans lesquels ils se retrouvent bien évidemment, mais dont la profusion risque de perdre les non-initiés. Indiquons-la tout de même pour mémoire.

Terminologie utilisée dans cet article	Autre terminologie possible utilisée par les scientifiques
transfert d'énergie thermique	- transfert thermique - chaleur
transfert d'énergie électrique	- transfert électrique - travail électrique - travail des forces électriques
transfert d'énergie mécanique	- transfert mécanique - travail
transfert d'énergie rayonnante	- rayonnement - énergie rayonnante - énergie électromagnétique

Tableau 1 : Terminologie pour les transferts d'énergie

Nous avons vu aussi que d'autres systèmes ne stockent pas d'énergie. Leur fonction est de la transformer : ce sont des « transformateurs d'énergie ».

Des bulles et un vocabulaire spécifique pour exprimer que l'énergie « se possède »

Il nous faut maintenant caractériser et qualifier la nature de l'énergie stockée dans les réservoirs. Nous verrons qu'elle présente des caractéristiques diverses qui nous amènent à distinguer plusieurs formes d'énergie. Avant cela, il est nécessaire de préciser ce que nous entendons par « physique microscopique » et « physique macroscopique ».

Physique microscopique et physique macroscopique

En physique, le monde microscopique est celui des molécules, des atomes ou, encore plus petit, celui des noyaux atomiques (c'est-à-dire le monde du nucléaire). Rappelons rapidement les modèles élémentaires utilisés par les physiciens.

- La matière est constituée d'atomes qui, eux-mêmes, sont formés d'un noyau (assemblage de protons et de neutrons) et d'électrons en orbite autour du noyau.
- Le noyau d'un atome peut subir des transformations : il peut se scinder en plusieurs parties plus petites ; il peut aussi s'associer à un autre noyau pour former un seul noyau plus gros que les précédents. Ces transformations s'appellent des transformations nucléaires (puisqu'elles affectent le noyau).
- Les atomes eux-mêmes peuvent s'agencer entre eux pour former des molécules. Par exemple, la molécule de méthane, CH₄, est un assemblage d'un atome de carbone et de quatre atomes d'hydrogène. Lorsque le méthane brûle dans l'oxygène de l'air, les atomes constituant le méthane et ceux qui constituent l'oxygène se combinent différemment. Nous sommes dans le domaine des transformations chimiques.
- Quant aux molécules, elles peuvent s'associer plus ou moins solidement entre elles pour former les différents états de la matière. Prenons l'exemple de la molécule d'eau H₂O. À l'état solide, les molécules sont proches et solidaires les unes des autres. C'est ce qui explique la rigidité de la glace. À l'état liquide, elles restent proches mais ne sont plus que faiblement liées les unes aux autres. C'est ce qui explique la fluidité de l'eau. Enfin, à l'état gazeux, les molécules d'eau se dispersent dans tout l'espace disponible et se mélangent aux autres molécules présentes (typiquement les molécules d'oxygène et d'azote constituant l'air).
- Enfin, les particules élémentaires (atomes, molécules) sont en permanence animées d'un mouvement plus ou moins rapide appelé « agitation » qui est en relation avec la température. Une plus forte agitation correspond à une température plus élevée, et réciproquement.

Par opposition au monde microscopique, se trouve le monde macroscopique, celui qui est à notre échelle.

Les formes d'énergie macroscopiques

Elles concernent des formes d'énergie qui ne dépendent pas de la structure microscopique des systèmes. Elles sont au nombre de deux, et encore, il est souvent habituel de les regrouper.

- Un véhicule en mouvement sur une route possède de l'énergie. Cela se comprend très bien. S'il percute un obstacle, on conçoit les dégâts qui peuvent s'en suivre. Cette forme d'énergie, appelée énergie cinétique (E_c), est liée à sa masse et à sa vitesse mesurée par rapport à la route. La formule connue de nombre de lycéens est classique :

$$E_c = \frac{1}{2} m.v^2$$

Elle n'est pas indispensable à connaître dans le cadre de l'approche de l'énergie que nous proposons ici.

- Une masse située au-dessus du sol, une retenue d'eau située en altitude par rapport à la vallée sont deux exemples qui illustrent une deuxième forme d'énergie appelée « énergie potentielle⁹ ». Elle dépend de la masse du système considéré et de son altitude par rapport à

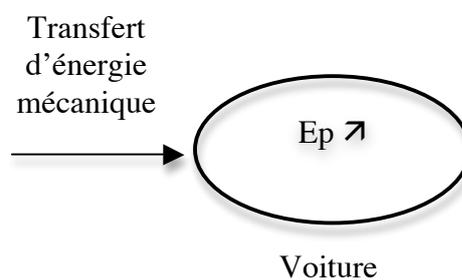
⁹ On précise parfois : énergie potentielle de pesanteur.

un niveau de référence qui est arbitraire. On la désigne souvent par E_p . Par exemple, un objet posé sur une table ne possède pas d'énergie potentielle par rapport à cette table, alors qu'il en possède par rapport au sol de la pièce.

- Il est possible de définir une autre grandeur, E_m , appelée énergie mécanique totale, qui est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle du système.

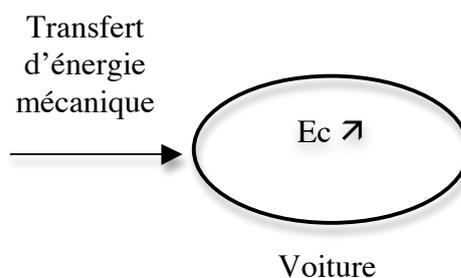
Illustrons maintenant ces définitions par des exemples.

- Un conducteur malchanceux dont le véhicule est en panne pousse sa voiture le long d'une côte. Supposons que tous deux progressent à vitesse constante. Intéressons-nous au système constitué par la voiture. Ce système reçoit de l'énergie du conducteur. Il s'agit d'un transfert d'énergie mécanique. Ce faisant, l'énergie potentielle de la voiture augmente (puisqu'elle acquiert peu à peu de l'altitude). Nous représenterons donc l'analyse énergétique de la manière suivante.

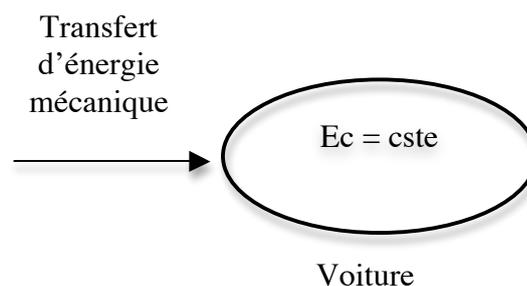


Le principe de conservation est respecté : un système reçoit de l'énergie ; la quantité d'énergie qu'il possède augmente.

- Voyons maintenant le cas du même conducteur. Moins malchanceux, il tombe en panne sur une route horizontale. En poussant sa voiture, il lui transfère de l'énergie. Pendant les premières secondes de l'opération l'énergie cinétique de la voiture augmente (elle était immobile et elle se met en mouvement). On écrira donc :

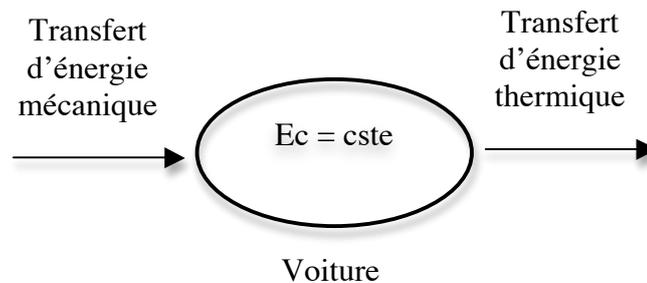


Mais après ces quelques secondes, on peut admettre que le conducteur va réussir à maintenir la voiture sur sa lancée à vitesse constante. L'énergie cinétique de celle-ci ne va donc plus augmenter.



Est-ce possible ? Le principe de conservation nous dit que non... Un système (la voiture) reçoit de l'énergie. Si rien d'autre ne se passe, la quantité d'énergie de ce système doit augmenter. Si cette quantité d'énergie reste constante, c'est que le système cède à son tour de l'énergie à un autre système. Que se passe-t-il ici ? Les frottements divers qui se produisent à différents niveaux font que la voiture cède de l'énergie au milieu ambiant. Il s'agit essentiellement de transfert d'énergie thermique qui s'écoule vers l'environnement.

On doit donc compléter le schéma précédent comme suit :



D'après le principe de conservation, la quantité d'énergie mécanique amenée par le conducteur est exactement égale à la quantité d'énergie thermique cédée à l'environnement.

Les formes d'énergie microscopiques

Ce sont des formes d'énergie qui dépendent de la structure microscopique des systèmes.

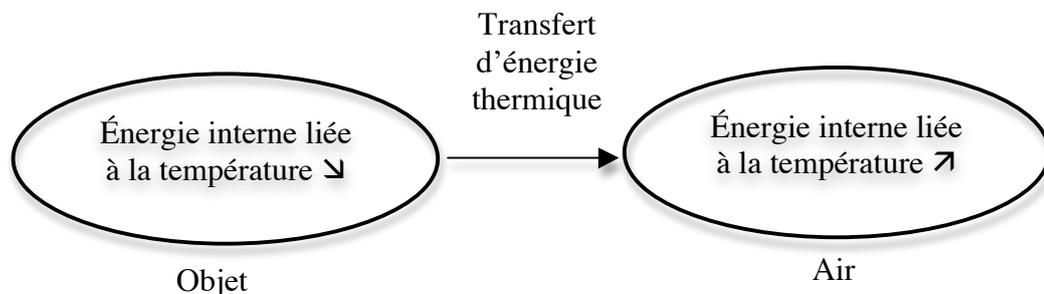
En sciences physiques, elles sont toutes répertoriées sous le vocable d'énergie interne (U). Nous allons discuter plus précisément de leur nature.

Énergie interne de température

Nous avons vu que les particules microscopiques (atomes, molécules) présentent sans cesse une agitation : elles possèdent donc de l'énergie cinétique (bien que microscopiques, toutes ces particules ont une masse et sont animées d'une certaine vitesse). Nous avons dit que cette énergie cinétique est directement liée à la température.

Ainsi, l'énergie interne liée à la température est donc due à l'agitation thermique des particules. Elle varie si la température varie.

Envisageons immédiatement l'exemple d'un objet qui se refroidit dans l'air ambiant. Nous représenterons la situation ainsi :



Énergie interne liée à l'état physique

Revenons sur un phénomène relativement bien connu : la fusion de la glace. Tout le monde connaît les caractéristiques de cette transformation :

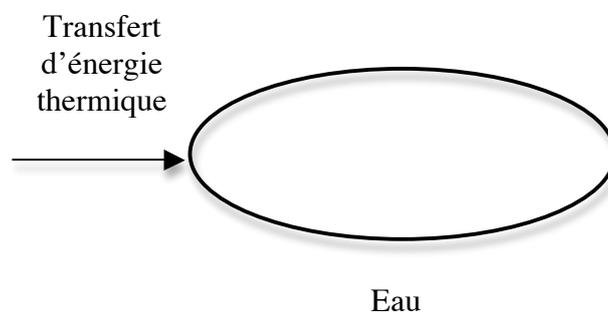
- il faut d'une manière ou d'une autre apporter de la chaleur à la glace pour la faire fondre ;
- au cours de la fusion, l'eau passe de l'état solide à l'état liquide ;
- elle s'effectue à température fixe (typiquement 0°C) ; cette température demeure constante pendant toute la durée de la fusion.

Imaginons de la glace et de l'eau liquide, dans un récipient, placée dans des conditions où la glace puisse fondre (par exemple dans de l'air à 20°C). Comment traduire cela physiquement ?

- Première question à régler : quel est le système étudié ? Nous choisirons de prendre l'eau quel que soit son état physique. Autrement dit, nous étudions le contenu du récipient, qui contient donc de l'eau. Nous ne séparons pas l'eau à l'état solide de l'eau à l'état liquide. Ces deux parties sont dans le même récipient : ils constituent un seul et unique système. Cependant, il se passe une transformation au sein de ce système (nous allons y venir).

- Deuxième question : quels sont les transferts d'énergie ? Autrement dit, est-ce que ce système reçoit et cède de l'énergie ? Il est clair que ce système reçoit de l'énergie thermique (la glace a besoin de chaleur pour fondre).

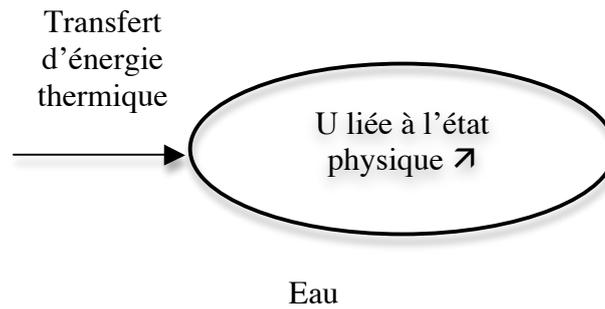
Nous pouvons donc démarrer notre représentation ainsi :



- Troisième question : le système étudié stocke-t-il de l'énergie ?

La réponse est oui : puisqu'il en reçoit et qu'il n'en cède pas, c'est que la quantité d'énergie qu'il possède augmente. Reste à savoir sous quelle forme. Il s'agit nécessairement d'énergie interne. Mais ce n'est pas de l'énergie liée à la température puisque la transformation s'effectue à température constante. La compréhension de cela est à chercher au niveau microscopique : l'énergie thermique reçue par la glace a pour effet de séparer les molécules d'eau les unes des autres. En s'éloignant les unes des autres, les molécules acquièrent une énergie similaire à l'énergie potentielle d'un objet qu'on éloignerait du sol. Ce point, convenons-en, est difficile à saisir. Retenons qu'à la température de 0°C , une certaine masse d'eau liquide possède plus d'énergie que la même masse de glace. L'énergie accumulée par l'eau au cours de sa fusion est de l'énergie interne que nous qualifierons d'énergie interne liée à l'état physique.

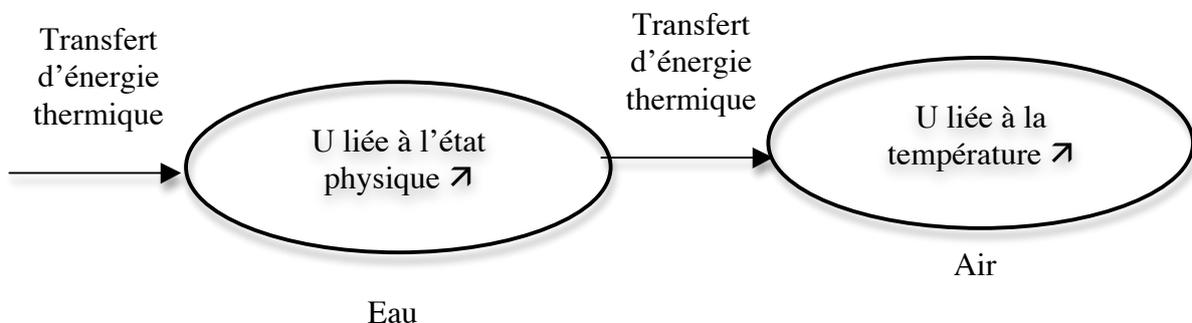
Complétons alors notre schéma (rappelons que nous désignons par U les différentes formes d'énergie interne).



Voyons maintenant comment représenter l'ébullition de l'eau. Les étapes sont identiques.

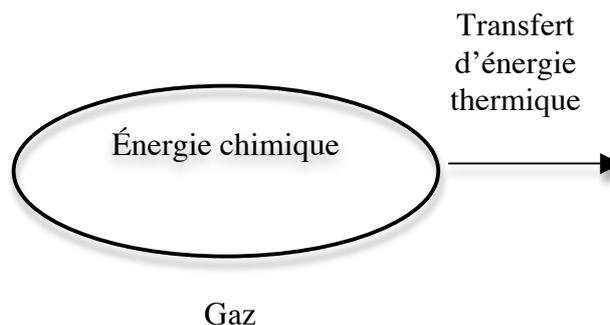
- Définition du système : l'eau, quel que soit son état (liquide ou gazeux). Remarquons que ce choix impose un effort d'imagination. Nous devons en effet délimiter par la pensée une certaine masse d'eau. Initialement, elle est à l'état liquide, dans un récipient, donc facile à délimiter. Mais en se vaporisant, les molécules s'échappent du récipient et se mélangent à l'air. Peu importe... Un petit effort d'imagination nous permet de délimiter, par la pensée, un ensemble qui comporte toutes les molécules d'eau, qu'elles correspondent encore à l'état liquide dans la casserole ou qu'elles soient dispersées dans l'air.

- Inventaire des transferts d'énergie (énergie reçue et / ou cédée). De la même manière que précédemment, l'eau reçoit de l'énergie thermique (il faut chauffer l'eau pour maintenir l'ébullition). Mais il y a une différence avec le cas précédent. L'eau devenant rapidement plus chaude que l'air ambiant, elle cède de l'énergie thermique à celui-ci. Il faut donc compléter le schéma du cas précédent de la manière suivante.



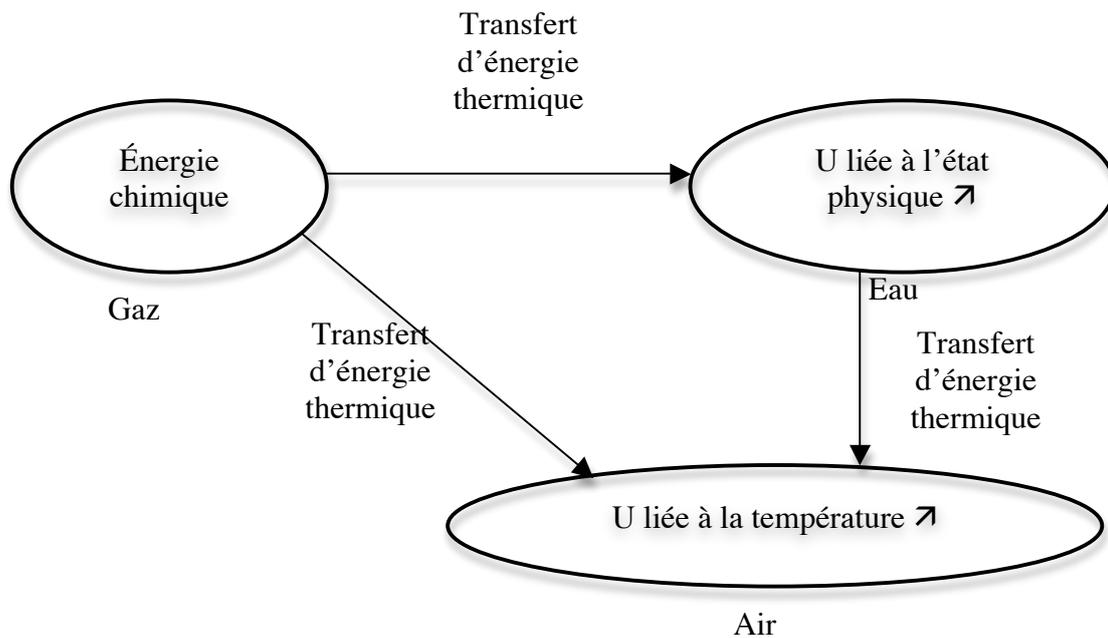
Énergie interne liée à la constitution chimique ou « énergie chimique »

Nous venons de voir que les changements d'état physique s'accompagnent d'échanges d'énergie thermique. Il en est de même des transformations chimiques. Prenons l'exemple d'un gaz combustible. Lorsqu'il brûle, il est clair qu'il transfère de l'énergie thermique à l'environnement.



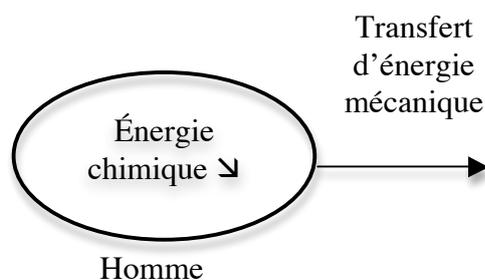
En reprenant un raisonnement que nous avons déjà mené, nous devons admettre que le gaz contient de l'énergie, sous une forme ou sous une autre, même s'il ne brûle pas, faute de quoi, il ne pourrait pas en céder. Ce type d'énergie est lié à sa capacité à subir une combustion, c'est-à-dire une transformation chimique. On pourrait donc la nommer « énergie interne liée à la constitution chimique », terminologie qui aurait l'avantage de bien préciser sa nature. Mais nous emploierons cependant l'expression consacrée par l'usage « d'énergie chimique ».

Nous pouvons, à titre d'exemple, compléter la chaîne énergétique de l'ébullition de l'eau si l'on suppose que la source est du gaz de type butane ou méthane. Et, pour être plus complet, nous devons représenter tous les transferts d'énergie thermique vers l'air ambiant.



Revenons sur le cas du conducteur malchanceux dont la voiture est tombée en panne. Lorsqu'il pousse celle-ci, l'homme lui transfère de l'énergie mécanique.

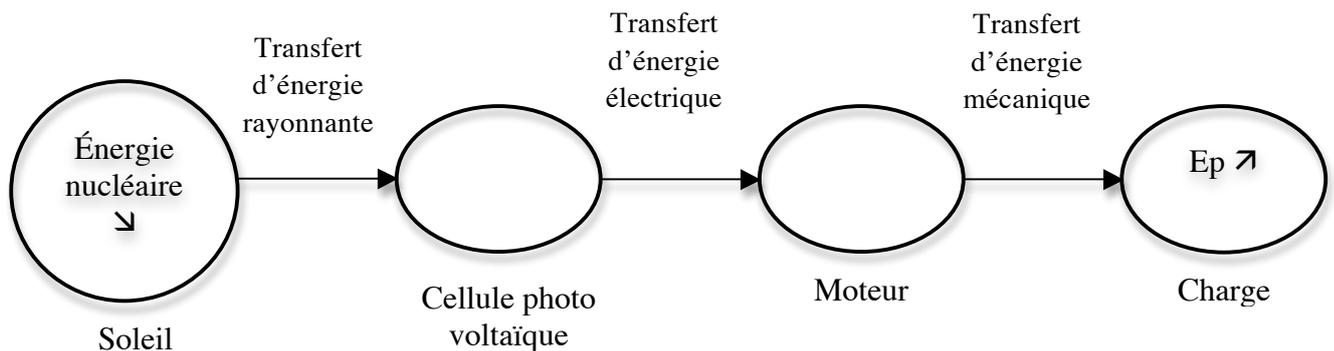
Mais, d'après le principe de conservation, cet homme ne peut transférer de l'énergie que s'il en possède lui-même. Nous avons vu que c'est grâce aux aliments qu'il possède cette énergie. Ceux-ci ne sont pas inertes mais donnent lieu à des transformations chimiques qui s'opèrent dans l'organisme. Ainsi, la forme d'énergie possédée par n'importe quel individu est de l'énergie chimique. Elle diminue régulièrement, sauf lorsqu'elle est reconstituée par l'apport d'aliments.



Énergie interne liée à la constitution du noyau atomique ou « énergie nucléaire »

La même logique est à l'œuvre lorsqu'il s'agit de transformations nucléaires comme celles qui se produisent dans le Soleil ou celles qui affectent les noyaux d'uranium dans les centrales nucléaires. Les noyaux des atomes possèdent donc de l'énergie interne liée à leur structure nucléaire. Nous adopterons là aussi l'expression consacrée et nous appellerons cette forme d'énergie de « l'énergie nucléaire ».

Pour illustrer, complétons l'une des chaînes énergétiques évoquées précédemment qui représente le cas d'une cellule photovoltaïque placée au Soleil et qui alimente un moteur. Pour aboutir à un exemple complet, nous admettrons que ce moteur sert à soulever une charge qui progresse à vitesse constante.



Pour résumer

Nous arrivons au terme du formalisme que nous voulions exposer. Résumons ses caractéristiques.

L'énergie est une grandeur qui présente un certain nombre de caractéristiques. Nous en avons développé trois : elle se conserve ; elle peut être stockée dans des systèmes où elle prend différentes formes ; elle peut se transférer d'un système à un autre.

Une analyse énergétique suppose donc trois temps : définir les systèmes intervenant ; pour chaque système réservoir, préciser la nature de l'énergie qui y est stockée ; préciser les modalités par lesquelles l'énergie se transfère d'un système à un autre système.

Nous avons souvent choisi de rendre compte de cela par des schémas. Il faut veiller à la cohérence de ceux-ci :

- une bulle représente un système sous lequel nous indiquons ce qu'il est ;
- une flèche représente un transfert d'énergie entre deux systèmes différents ;
- à l'intérieur d'une bulle, nous mentionnons la forme d'énergie accumulée s'il s'agit d'un réservoir ; nous ne mettons rien s'il s'agit d'un transformateur.

Dans tous les cas, une chaîne énergétique complète débute par un réservoir et se termine un autre réservoir. Cependant, il peut arriver de vouloir ne représenter qu'une partie d'une chaîne qui, alors, pourra débiter ou se terminer autrement.

Enfin, dans n'importe quelle transformation énergétique, on « perd » toujours de l'énergie qui se dissipe vers l'environnement à cause notamment des frottements. Dans l'idéal, il faut donc toujours faire figurer l'environnement dans les représentations schématiques réalisées. Il ne s'agit pas d'une perte au sens premier du terme. Il s'agit d'un transfert

vers l'environnement. L'énergie est « perdue » pour l'utilisation qu'on veut en faire. Mais n'oublions pas qu'elle se conserve.

Avant de terminer par quelques exemples, nous souhaitons éclaircir une confusion qui intervient souvent chez les étudiants préparant le CRPE comme chez les PE. Elle vient d'une distinction insuffisante entre les sources d'énergie, pour lesquelles on emploie assez volontiers du vocabulaire courant, et le concept scientifique d'énergie. Chaque source d'énergie est en fait un réservoir possédant une forme d'énergie qu'il faut savoir qualifier scientifiquement.

Source d'énergie (langage courant)	Forme d'énergie (concept scientifique)	Remarque, exemple
Énergie hydraulique	Énergie mécanique (potentielle ou cinétique)	Dans un barrage, l'eau de la retenue possède de l'énergie potentielle
Énergie géothermique	Énergie interne liée à la température	L'eau des geysers. La « chaleur » interne du sous-sol exploité dans les pompes à chaleur.
Énergie solaire	Énergie nucléaire ou Transfert d'énergie rayonnante	Ce sont les réactifs nucléaires présents dans le Soleil qui constituent cette énorme réserve et qui, par les réactions nucléaires, envoient du rayonnement dans l'espace.
Énergie nucléaire	Énergie nucléaire	Pour une fois, la terminologie courante recoupe la terminologie scientifique.
Énergie de la biomasse Énergie musculaire	Énergie chimique	
Énergie éolienne	Énergie cinétique	L'air a une masse. Lorsqu'il est en mouvement, il possède de l'énergie cinétique.
Énergie fossile	Énergie chimique	

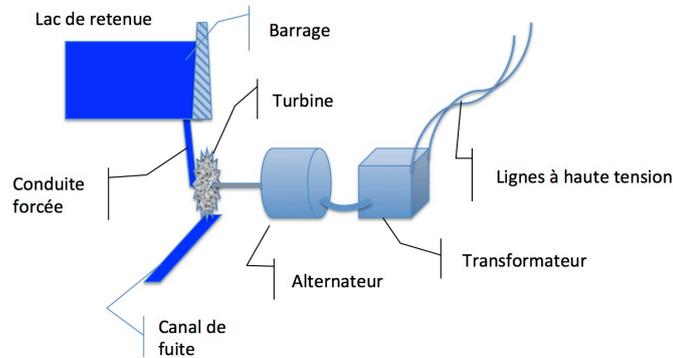
Tableau 2 : Sources d'énergie et formes d'énergie

Quelques exemples à la loupe

Nous avons choisi de développer le cas des centrales de production d'énergie électrique. Leur importance dans le monde actuel le justifie. Mais ces exemples nous permettront aussi de préciser quelques difficultés qui guettent, bien évidemment, les étudiants se préparant au CRPE.

La centrale hydroélectrique

Rappelons que de l'eau, initialement retenue par un barrage, chute sur une turbine (une hélice) qui est elle-même solidaire d'un alternateur. Ce dernier produit de l'énergie électrique qui est acheminée vers des stations de transformation afin qu'elle soit ensuite distribuée aux utilisateurs. Nous arrêterons notre analyse à la sortie de l'alternateur.



Notre raisonnement est toujours fondé sur la même chronologie. Il s'agit dans un premier temps de définir les systèmes étudiés. La source d'énergie est l'eau du barrage. Nous allons donc considérer une masse d'eau située initialement en haut de la conduite forcée. Cette masse d'eau se trouvera, plus loin, à actionner les pales de la turbine. Donc, le premier système que nous considérons est une masse d'eau qui, entre deux instants, a perdu de l'altitude. Les autres systèmes sont plus faciles à définir : il s'agit de la turbine puis de l'alternateur.

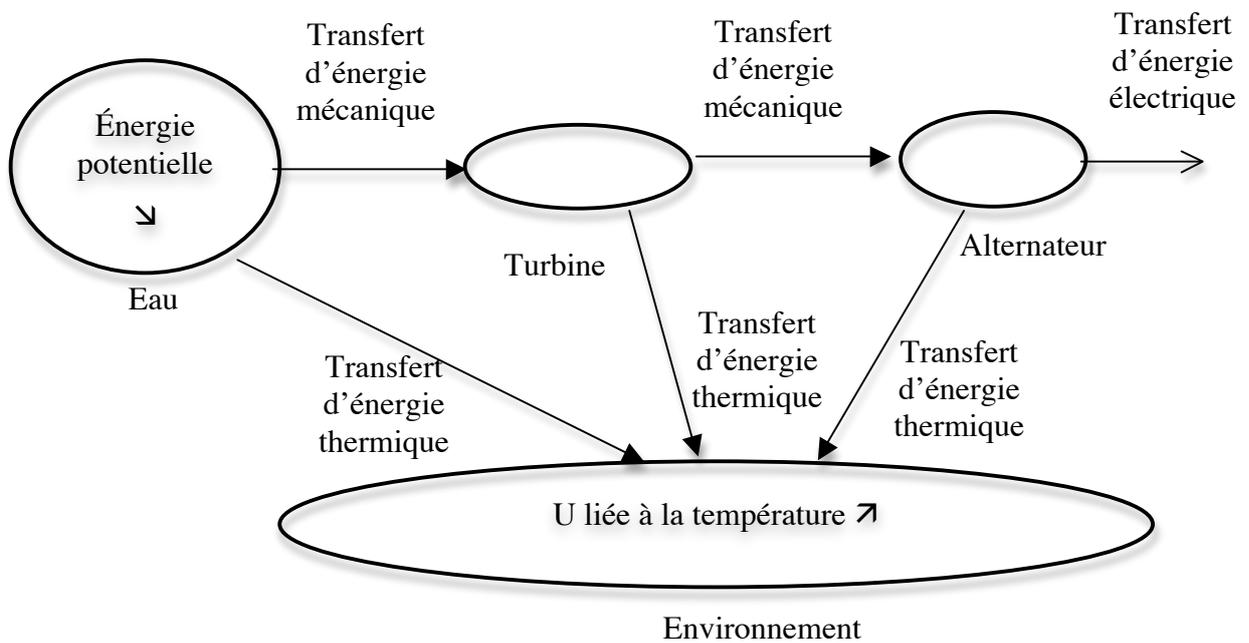
Il s'agit maintenant de savoir quelle(s) forme(s) d'énergie possède chaque système, comment elle évolue et quels transferts s'opèrent entre les systèmes. Nous allons donc reprendre les systèmes les uns après les autres.

- La masse d'eau que nous avons isolée par la pensée possède initialement de l'énergie potentielle qu'elle perd au fur et à mesure de sa chute. Notons bien que, contrairement à une idée reçue, cette masse d'eau n'acquiert pas d'énergie cinétique. Tant qu'elle est dans la conduite forcée, elle descend à vitesse constante. Ainsi, il est donc totalement injustifié de transposer au cas du barrage le raisonnement classique de la chute libre en disant que l'énergie potentielle de l'eau du barrage se transforme en énergie cinétique. Non seulement c'est injustifié, mais c'est faux. La seule transformation qui s'opère est une diminution d'énergie potentielle. L'énergie cinétique demeure constante.

- Le reste est plus facile. En interagissant avec les pales de la turbine, l'eau lui transfère de l'énergie mécanique. Celle-ci est à son tour transférée à l'alternateur qui la transforme en énergie électrique. La turbine et l'alternateur sont des transformateurs d'énergie. Ils ne stockent pas celle-ci. La faible quantité d'énergie qu'ils possèdent demeure constante au cours du temps.

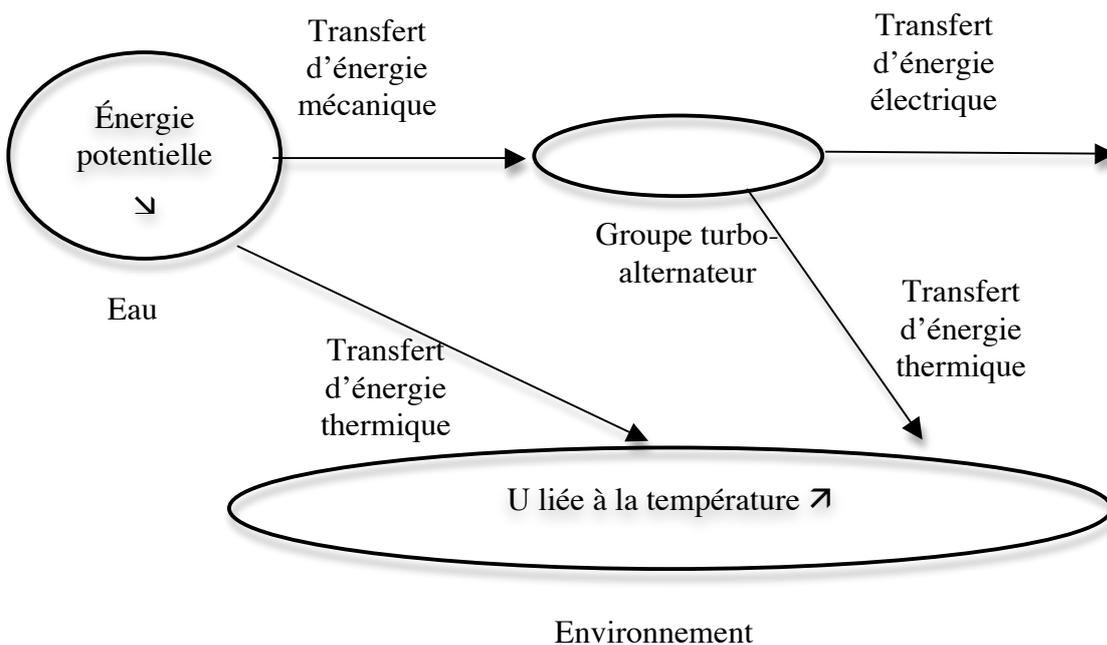
Enfin, à chaque étape, les frottements sont à l'origine d'un transfert d'énergie thermique vers l'environnement.

Nous pouvons donc résumer cette analyse par la chaîne énergétique suivante.



Remarquons le rôle paradoxal de la turbine : elle transforme de l'énergie mécanique en énergie mécanique... Autant dire qu'elle n'a pas de rôle du point de vue énergétique. C'est pourquoi, dans la plupart des cas, les physiciens ont tendance à regrouper dans un unique système l'ensemble {turbine, alternateur} qu'ils appellent souvent le « groupe turbo-alternateur ». Évidemment, ce regroupement est pertinent lorsqu'on fait une analyse énergétique de la centrale. Il ne l'est plus si l'on fait une analyse technologique dans laquelle on s'intéresse par exemple aux contraintes subies par les différentes parties de la centrale et à la résistance qu'elles doivent opposer.

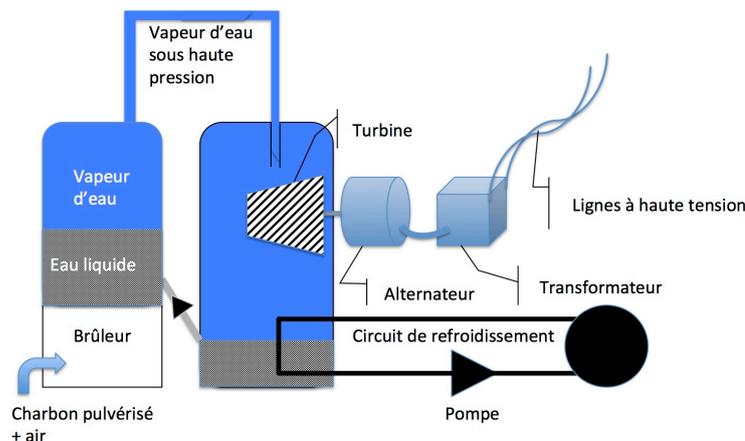
Mais revenons à l'analyse énergétique. De la manière la plus condensée possible, la chaîne énergétique d'une centrale hydroélectrique est la suivante.



La centrale thermique au charbon

Nous allons ici prendre l'exemple d'une centrale dont la source d'énergie est le charbon. Nous conclurons ce paragraphe en montrant que l'analyse est voisine dans le cas des autres centrales thermiques, notamment les centrales nucléaires.

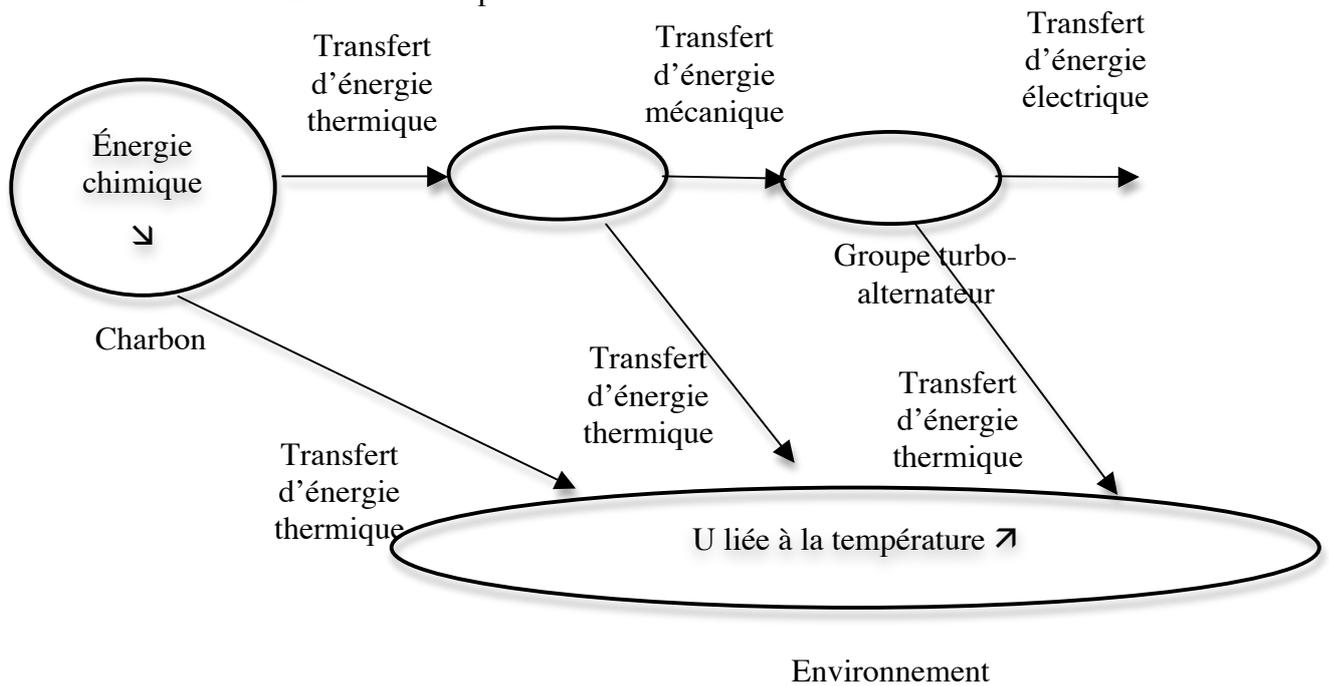
Le principe d'une telle centrale est le suivant. On introduit du charbon pulvérisé dans une chaudière alimentée en air. La combustion du charbon provoque deux effets : la vaporisation de l'eau et l'augmentation de sa pression. La vapeur d'eau sous pression est acheminée vers les pales de la turbine ce qui entretient sa rotation (comme le vent entretient la rotation de l'hélice d'une éolienne). Ce faisant, l'eau se liquéfie (elle repasse à l'état liquide). Cette eau circule en circuit fermé et revient à la chaudière où elle est à nouveau réchauffée. Revenons à la turbine : celle-ci est couplée à un alternateur qui produit donc l'énergie électrique souhaitée.



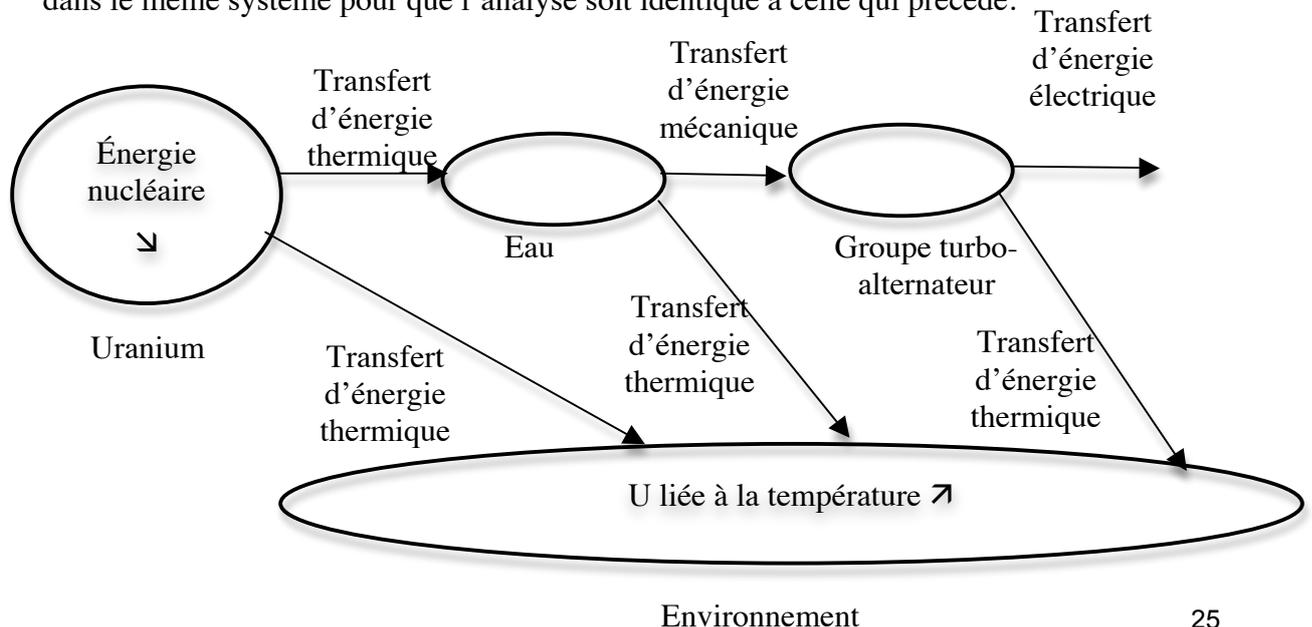
- Comme précédemment, envisageons les systèmes que nous allons étudier. La source d'énergie est ici le charbon (premier système). Sa combustion chauffe de l'eau qui se vaporise. La vapeur d'eau sous pression fait tourner la turbine, elle-même couplée à l'alternateur. Nous voyons se dessiner une fin de chaîne similaire à la précédente avec un regroupement de la turbine et de l'alternateur dans un seul système. Comme précédemment, la difficulté vient de la manière de considérer l'eau. Le plus cohérent est d'en faire un système à part entière. Il est en effet difficile de séparer l'eau à l'état liquide de la vapeur d'eau. La chaîne des systèmes est donc la suivante : charbon → eau → groupe turbo-alternateur.

- Comme vu dans les paragraphes précédents, le charbon possède de l'énergie interne de nature chimique. L'eau, dans son ensemble, circule dans un circuit fermé. Elle est tantôt dans la chaudière à très haute température, tantôt en contact avec les pales de la turbine où elle se refroidit. Elle se vaporise dans la chaudière et se liquéfie à la sortie de la turbine ce qui fait qu'elle est tantôt à l'état liquide, tantôt à l'état gazeux. Cela paraît compliqué mais, si l'on s'intéresse à l'ensemble de l'eau qui circule, elle conserve une température moyenne constante (quand bien même cette température est différente selon le point du circuit) et il y a toujours la même quantité d'eau respectivement à l'état liquide et à l'état gazeux (quand bien même il y a en permanence des changements d'état qui s'opèrent). Donc, globalement, l'énergie interne de l'eau est constante. L'eau elle-même ne stocke pas la moindre énergie. Elle n'est qu'un transformateur d'énergie. Pour dire vrai, s'il était techniquement possible de faire tourner les pales de la turbine en utilisant directement les gaz issus de la combustion du charbon, on obtiendrait des centrales de meilleur rendement.

- Et une nouvelle fois, il faut penser qu'à chaque étape de l'énergie thermique est cédée à l'environnement. La chaîne complète est donc la suivante.



- Que se passe-t-il dans les autres centrales thermiques ? Comment la chaîne ci-dessus est-elle modifiée ? Si le combustible est de nature chimique (fuel, gaz naturel), il n'y aura qu'à le mentionner à la place de charbon dans la désignation du premier système. Tout le reste demeure identique. Si la source d'énergie est l'uranium, il y aura de même à la mentionner puis à indiquer, à l'intérieur de la « bulle » où nous portons la forme d'énergie possédée qu'il s'agit d'énergie nucléaire. Les autres modifications qui distinguent les centrales thermiques nucléaires des centrales thermiques classiques n'affectent pas l'analyse énergétique. En effet, on utilise la réaction nucléaire pour chauffer de l'eau. De la vapeur d'eau peut ainsi faire tourner une turbine et un alternateur. Ce qui complique le dispositif est la radioactivité qui est produite par la réaction nucléaire et qui oblige à séparer l'eau chauffée dans le réacteur de l'eau qui fait tourner la turbine. Il y a donc deux circuits d'eau différents. Mais, d'un point de vue énergétique, il suffit de les mettre dans le même système pour que l'analyse soit identique à celle qui précède.



Conclusion

Comme les lecteurs non initiés l'auront probablement vu, ce domaine de l'énergie n'est pas simple. Ce n'est d'ailleurs pas un hasard s'il a mis du temps, historiquement, à s'élaborer. Nous espérons que cet article permettra à ceux qui en ont besoin d'y voir plus clair.

Rappelons une dernière fois notre propos. Une analyse scientifiquement correcte se doit d'adopter des conventions explicites et cohérentes assorties d'une terminologie précise et reconnue scientifiquement. Dans les analyses que nous avons proposées, les conventions sont les suivantes :

- chaque système est représenté par une « bulle » ;
- le nom de chaque système est porté sous la bulle ;
- la nature de l'énergie possédée par les réservoirs d'énergie est désignée dans les bulles avec mention de leur sens de variation ;
- les formes d'énergie possédées par les systèmes qui transforment l'énergie n'est d'aucun intérêt : elles ne sont pas indiquées ;
- entre les systèmes, des flèches représentent les transferts d'énergie d'un système à un autre système qui lui est différent ;
- la nature du transfert est indiquée sur la flèche.

Cette analyse est celle qui correspond à notre formation de physicien. Elle est conforme aux connaissances de base de la physique¹⁰ et, nous l'espérons, elle permettra au candidat au CRPE de traiter correctement les questions sur l'énergie, et au professeur des écoles de construire un enseignement autour de la thématique de l'énergie.

Bibliographie

- AGABRA J. et al. (1980) *Sciences Physiques Livre 3^{ème}*. Paris : Classiques Hachette, Coll. « Libres Parcours ».
- AGABRA J. et al. (1980) *Sciences Physiques Livre du professeur 3^{ème}*. Paris : Classiques Hachette, Coll. « Libres Parcours ».
- AGABRA J. (1985) Énergie et mouvement. *Aster*, n°1, 95-113.
- ASTER, n°2 (1986) Éclairage sur l'énergie. Paris : INRP.
- BALLINI P., ROBARDET G., ROLANDO J.-M. (1997) L'intuition, obstacle à l'acquisition de concepts scientifiques. *Aster*, n°24, 81-112.
- FEYNMAN R., LEIGHTON R., SANDS M. (1979) *Le cours de physique de Feynman, Mécanique I*. InterEditions.
- LAVAL A. (1985) Chaleur, température, Changements d'état. *Aster*, n°2, 115-132.
- LEMEIGNAN G., WEIL-BARAIS A. (1993) *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette, coll. « Éducation ».

¹⁰ Malgré toutefois quelques omissions volontaires que nous n'avons pas voulu développer au risque de perdre les non-spécialistes auxquels s'adresse cet article.

MONNERET A., TIBERGHIEU A. et al. (1998) *Introduction à l'énergie - Contenus de l'enseignement et compléments didactiques*. Lyon : CRDP.

MEN (2002) *Documents d'application des programmes, Sciences et technologie, cycle 3*. Scéren CNDP.