

<b>C<sup>u</sup><sub>d</sub></b>	Fiche info - titre :	<u>Date :</u> 17/04/2016
	Auteur : Source : <a href="https://sciencetonnante.wordpress.com/2014/04/14/crise-energetique-mais-non-crise-entropique/">https://sciencetonnante.wordpress.com/2014/04/14/crise-energetique-mais-non-crise-entropique/</a>	

## Crise énergétique ? Mais non, crise entropique !



Nous vivons en ce moment une crise énergétique. Chaque jour on entend qu'il faut *économiser* l'énergie, que nos ressources d'énergie *s'épuisent*, ou qu'il faut trouver de nouveaux moyens d'en *produire*.

Et pourtant dans le même temps, en cours de physique, on apprend que **l'énergie se conserve** : elle ne peut être ni créée, ni détruite. N'y a-t-il pas là une contradiction ? Pourquoi nous parle-t-on d'économiser l'énergie, si l'énergie se conserve ?

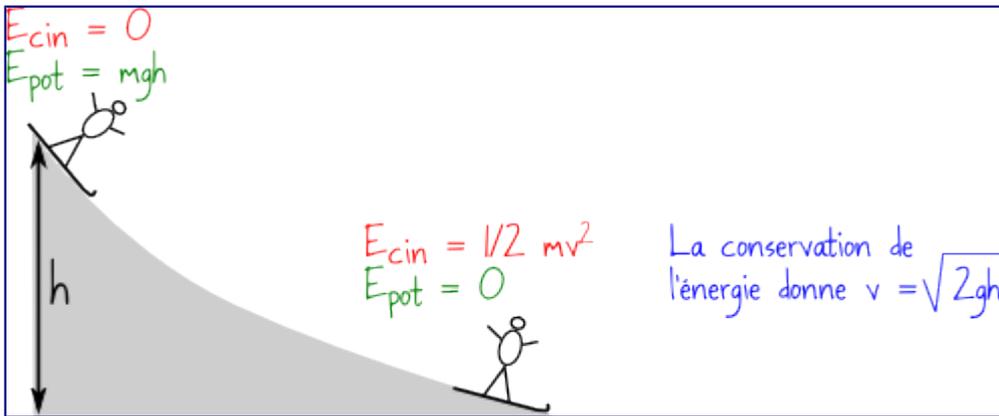
Pour comprendre cet apparent paradoxe, il faut faire appel à cette étrange notion qu'est l'entropie. Et nous allons voir que ce que nous appelons communément la crise énergétique est en réalité une crise entropique !

### Les différentes formes de l'énergie

En physique, l'énergie peut se présenter sous différentes formes. Il y a par exemple **l'énergie cinétique**, proportionnelle au carré de la vitesse, ou **l'énergie potentielle de pesanteur**, qui augmente avec l'altitude.

Souvent en cours de physique, on illustre tout cela en utilisant un skieur : en haut de la pente, ce dernier possède une énergie potentielle de pesanteur élevée, et en bas de la pente, le skieur a acquis de la vitesse et donc de l'énergie cinétique.

Si on dit que l'énergie totale du skieur est conservée, on peut calculer sa vitesse en bas, en écrivant que l'énergie cinétique finale est égale à l'énergie potentielle initiale, comme le montre le diagramme ci-dessous :



Tout cela fonctionne très bien, mais que se passe-t-il quand le skieur freine ? Il se retrouve en bas de la pente, son énergie potentielle est nulle, mais il est à l'arrêt donc son énergie cinétique est tout aussi nulle. Il a perdu toute son énergie ! Est-ce à dire que finalement l'énergie ne serait pas conservée, et qu'elle peut disparaître ?

Eh bien non, **l'énergie est toujours là, mais elle est maintenant sous forme thermique**. Quand le skieur freine, les frottements avec la neige produisent de la chaleur, et la température des skis et de la neige s'élève très légèrement. Cette production de chaleur au freinage n'est pas très visible avec un skieur qui s'arrête, mais beaucoup plus sur les plaquettes de freins d'une formule 1 !



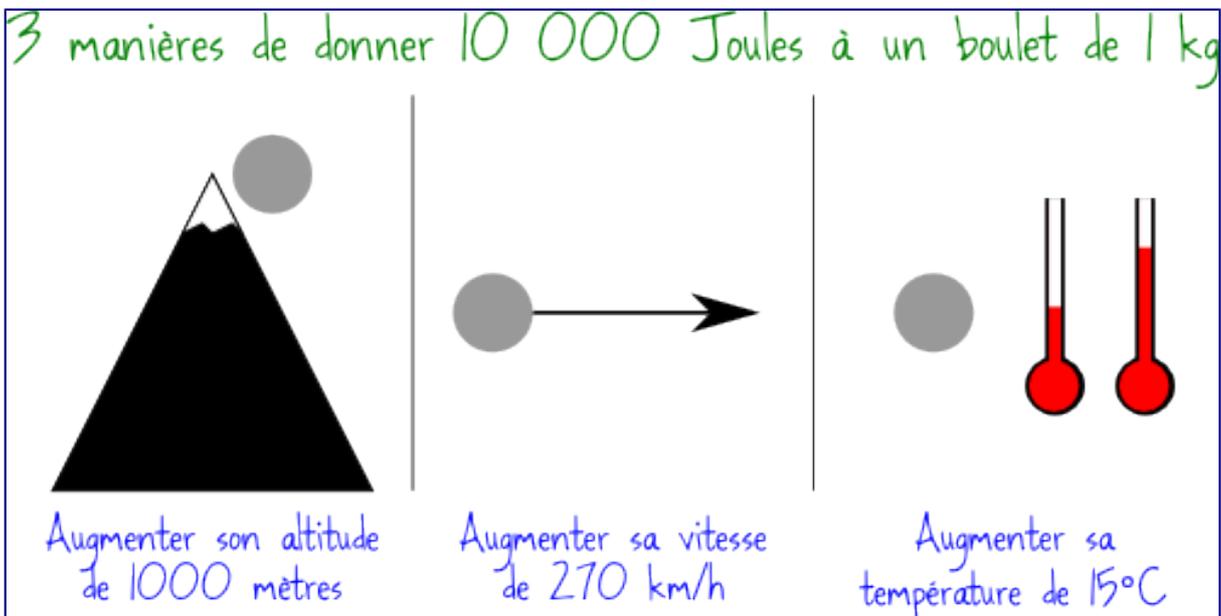
Cette histoire de freinage et de frottements nous montre qu'au delà de l'énergie cinétique ou potentielle, il existe une autre forme d'énergie à considérer : **l'énergie thermique**. Pour pouvoir écrire que l'énergie totale d'un système isolé se conserve, il est indispensable de la prendre en compte. Très bien, mais nous allons maintenant voir que cette énergie thermique possède un statut bien à part.

### Toutes les énergies ne se valent pas

Pour changer un peu du skieur, considérons un autre objet qui est un classique des cours de physique : le boulet de canon !

Prenons un boulet pesant 1kg, et imaginons que je désire augmenter son énergie totale de 10 000 Joules. Pour cela, je dispose d'au moins 3 moyens :

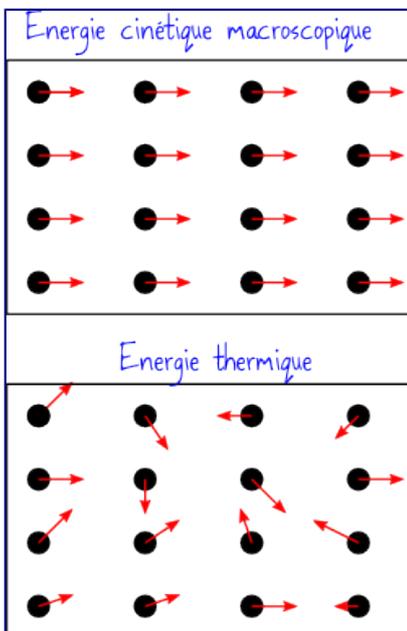
- L'emmener au sommet d'une montagne de 1000 mètres, je lui aurais ainsi donné environ 10 000 Joules sous forme d'énergie potentielle de pesanteur;
- Le propulser à 270 km/h, je lui donnerai alors 10 000 Joules sous forme d'énergie cinétique;
- Augmenter sa température d'environ 15°C, il recevra alors ses 10 000 Joules sous forme thermique.



Ces trois manières de donner de l'énergie à mon boulet peuvent paraître équivalentes, mais elles ne le sont pas ! Dans les deux premiers cas, je peux facilement récupérer l'énergie de mon boulet pour faire du travail. Imaginons que j'aie besoin de soulever un objet, je peux toujours (via par exemple un système de cordes et de poulies) récupérer l'énergie potentielle ou cinétique de mon boulet pour le faire. Avec l'énergie thermique, en revanche, pas moyen ! Mon boulet est chaud, mais **impossible qu'il transforme tout seul cette chaleur en mouvement** qui me permette de récupérer mon énergie.

Cette petite comparaison entre ces 3 manières de donner de l'énergie à un boulet illustre un principe essentiel : **toutes les énergies ne se valent pas, et l'énergie thermique est beaucoup moins « utile » que les autres.**

### De l'énergie de qualité ?



Pour comprendre pourquoi l'énergie thermique est moins intéressante que les autres, il faut se pencher sur les détails de sa nature. Au niveau microscopique, les atomes de la matière sont constamment en mouvement. Pour un gaz il se déplacent à peu près librement, pour un solide il sont contraints de rester à un certain endroit, mais ils peuvent osciller autour de leur position.

Plus la température d'un corps est élevée, plus les atomes qui le composent s'agitent à une vitesse élevée. **L'énergie thermique, c'est donc tout simplement de l'énergie cinétique d'agitation des atomes qui**

## composent votre objet.

Mais du coup, l'énergie thermique c'est comme de l'énergie cinétique, pourquoi serait-elle si différente ? La grande différence, c'est l'organisation ! Quand vous propulsez votre boulet de canon, vous lui donnez une vitesse macroscopique, et donc chaque atome qui le compose va se mettre en mouvement dans la même direction que ses voisins, et à la même vitesse. Alors que si vous chauffez votre boulet, chaque atome qui le compose va se mettre à osciller plus vite, mais **tous les atomes vont le faire de manière désynchronisée**. Dans un cas le mouvement est coordonné, dans l'autre il est désordonné. **Dans un cas l'énergie est concentrée, dans l'autre elle est dispersée.**

Cette idée nous explique en quoi l'énergie thermique n'est pas comme les autres : c'est une énergie dispersée au niveau microscopique, alors que l'énergie cinétique ou l'énergie potentielle sont concentrées au niveau macroscopique. Il y a donc bien une notion de « qualité » de l'énergie : et pour mesurer cette qualité, on va utiliser l'entropie.

## Énergie libre & entropie

Reprenons notre boulet. Je vais lui donner à nouveau de l'énergie, mais en mélangeant deux moyens : je vais l'emmener en haut d'une montagne de 1000 mètres, et je vais aussi augmenter sa température de 15°C. Je lui donne donc au total 20 000 Joules : 10 000 J sous forme potentielle et 10 000 J sous forme thermique.

Nous l'avons dit, la partie « potentielle » est intéressante car nous pouvons la récupérer pour faire du travail : cette partie utile, nous allons l'appeler **l'énergie libre**. Quand on considère l'énergie totale d'un système, on peut toujours la découper en deux pour séparer l'énergie libre du reste, l'énergie « inutile ».

$$\text{Energie totale} = \text{Energie libre} + \text{Energie "inutile"}$$

En pratique, on n'emploie pas cette notion d'« énergie inutile », et l'on utilise à la place la notion d'**entropie**. Pour des raisons sur lesquelles je n'ai pas besoin de m'étendre, ce qu'on appelle entropie (et qu'on note S) est en réalité l'énergie « inutile » divisée par la température T. Pour tout système, on a donc au final la décomposition de l'énergie total E en énergie libre F et partie inutile :

Le diagramme illustre l'équation  $E = F + S * T$  avec des annotations manuscrites :

- Energie totale** (bleu) pointe vers **E** (bleu).
- Energie libre** (vert) pointe vers **F** (vert).
- Energie "inutile"** (noir) est au-dessus de **S \* T** (rouge et violet).
- Entropie** (rouge) pointe vers **S** (rouge).
- Température** (violet) pointe vers **T** (violet).
- Une accolade courbe relie **S** et **T** à l'expression **Energie "inutile"**.

Ce qu'il faut retenir de cette décomposition, c'est que **lorsque vous parlez d'un système** (par exemple un boulet de canon), **il ne suffit pas de donner son énergie totale, il faut aussi préciser son entropie**, afin que l'on sache quelle partie de cette énergie totale sera inutile.

## La crise entropique

Reprenons notre skieur en haut de la pente. Initialement son énergie est sous forme potentielle, donc

concentrée et utile. Il se laisse descendre et acquiert de l'énergie cinétique, puis il freine et l'énergie se transforme en chaleur à cause des frottements.

Bilan de l'affaire : il a commencé plein de bonne énergie potentielle, et il termine sa course avec seulement de l'énergie thermique. **Il a toujours autant d'énergie, mais la qualité de l'énergie n'est plus la même : l'entropie a augmenté !**

L'air de rien, ce simple exemple nous fait toucher du doigt ce qu'on appelle les deux premiers principes de la thermodynamique, à savoir que pour un système isolé :

- Règle n°1 : l'énergie totale est conservée;
- Règle n°2 : l'entropie ne peut qu'augmenter (la qualité de l'énergie ne peut que se dégrader)

J'espère que vous voyez maintenant le lien avec la question de la crise énergétique : il se passe la même chose avec par exemple une voiture ou un avion. L'énergie d'un véhicule est initialement sous forme chimique (le carburant) ou électrique, c'est de l'énergie concentrée, mais au cours d'un trajet elle se changera irrémédiablement en énergie thermique : **on ne perd pas d'énergie, mais l'entropie augmente.**

Voilà notre paradoxe initial résolu : oui c'est vrai, l'énergie se conserve, mais au fur et à mesure qu'on la « consomme », la qualité de cette énergie diminue au fur et à mesure, et l'entropie augmente. La crise énergétique est donc bien au final une crise entropique !

Pour finir, je voudrais citer un professeur de mon père, qui résumait admirablement le fait que spontanément la qualité de l'énergie ne peut que se dégrader :

*« Si vous descendez un escalier à califourchon sur la rampe, vous constaterez un léger échauffement de votre postérieur. En revanche, c'est pas en vous chauffant le cul que vous allez remonter ! »*

Quelle meilleure illustration du second principe de la thermodynamique ?

---

### *Pour aller plus loin...*

*Parler de thermodynamique de manière simple est toujours un peu délicat. Dans ce billet, j'ai délibérément pris le parti de présenter l'entropie de la manière qui me paraissait la plus simple en utilisant les notions de mécanique que l'on aborde en lycée. Il faut savoir qu'il existe de multiples manières d'aborder ce concept, notamment par la mécanique statistique ou la théorie de l'information. Un point qu'il me semble important de préciser pour ceux qui voudraient creuser : les principes de la thermodynamique s'entendent pour un système isolé. En pratique, il est possible de récupérer l'énergie thermique contenue dans un boulet chauffé (par exemple en chauffant de l'eau et en faisant une machine à vapeur) mais cela implique des échanges avec l'extérieur (et l'entropie de l'univers augmentera quand même).*

*D'ailleurs pour les thermodynamiciens chevronnés, je propose une petite énigme qui m'est venue en écrivant ce billet, et pour laquelle je n'ai pas la réponse : imaginons que je prenne mon boulet chauffé, et que je l'enferme dans une boîte qui l'isole de l'extérieur, avec dedans un panneau photovoltaïque. Le boulet va rayonner sa chaleur, une partie du rayonnement peut être absorbée par le panneau photovoltaïque et changé en électricité. Je passe d'une forme d'énergie thermique à une forme d'énergie potentielle. Cela viole le second principe de la thermo, donc il doit y avoir une erreur ! Quelque chose lié à l'équilibre du rayonnement entre le boulet, le panneau et la boîte ? Des suggestions ?*

### **Billets reliés, ici ou ailleurs**

- L'idée de ce billet m'est venue en écoutant *The 2nd Law* de Muse, qui aborde la question de la crise

énergétique précisément sous l'angle de l'entropie ! [Dr Goulu en parlait ici](#)

- La gravité, [une force d'origine entropique](#) ?
- Xochipilli nous a souvent parlé d'entropie avec des perspectives différentes, comme [ici](#) et [là](#)
- D'autres billets sur l'énergie en mécanique : [la physique du looping](#), [les pièges du feu rouge](#) ou [une réflexion sur le record du monde de saut à la perche](#)

#### Crédits

- [Puit de pétrole](#), Wikimedia Commons
- <http://www.fotopedia.com/items/6nf9pniglhb0r-9VUDnDFXmTk>
- [Formule 1](#), Doug /Flickr CC
- Schémas : Science étonnante