

Chapitre 1



# L'énergie et les variables énergétiques

## Problématique énergétique

La consommation actuelle repose presque entièrement sur l'usage des énergies fossiles : (le **pétrole, le gaz naturel, le charbon et l'uranium**). Les réserves d'énergies fossiles sont limitées (alors que la consommation mondiale d'énergie augmente) et polluantes (augmentation des émissions de gaz à effet de serre tel que le gaz carbonique. Avec pour conséquence un réchauffement climatique global de la planète).

### I.1 Définition

L'énergie est de manière générale, la capacité de faire un travail, c'est-à-dire d'agir. Ce terme recouvre plusieurs réalités qui se recoupent partiellement :

- l'énergie au sens de la science physique est une mesure de la capacité d'un système à modifier un état, à produire un travail entraînant un mouvement, un rayonnement électromagnétique ou de la chaleur ;
- au sens de l'écologie et de l'économie, on appelle énergie une ressource énergétique naturelle (énergie éolienne, énergie nucléaire, énergie solaire, gaz naturel, pétrole) ou son produit (électricité), lorsqu'ils sont consommés par les sociétés humaines pour divers usages industriels et domestiques (transport, chauffage...).

Le soleil, le bois, le charbon, le pétrole, le gaz, les matériaux nucléaires, les réserves d'eau, le vent ... sont des sources d'énergie primaires (voir fig1) .



Figure I.1 : Les sources d'énergie primaires

## I.2 Les formes d'énergie

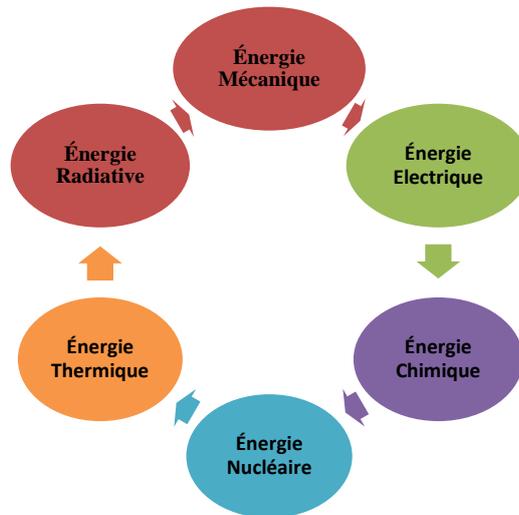


Figure I.2 : Les formes d'énergie

- a) **Énergie mécanique** : c'est l'énergie cinétique d'une voiture qui provient de la combustion du fuel dans le moteur aussi c'est l'énergie potentielle de l'eau dans un barrage.
- b) **Énergie électrique** : Correspond au déplacement de courants électriques dans des corps conducteurs (dans la plupart des cas des métaux).
- c) **Énergie chimique** :  
La création de liaisons chimiques se traduit par une libération d'énergie, généralement sous forme de chaleur. A l'inverse, la rupture de ces liaisons nécessite aussi de l'énergie. Ainsi, une réaction chimique peut être **exothermique** (libère globalement de l'énergie) ou **endothermique** (consomme de l'énergie).
- d) **Énergie nucléaire** : Énergie libérée par des réactions impliquant le noyau de certains atomes (réactions nucléaires), soit par fission des noyaux, soit par fusion.
- e) **Énergie thermique** : on l'obtient de plusieurs sources : soleil, combustion du bois et des fossiles (charbon, pétrole, gaz) ou électricité (effet Joule).

**6- Énergie radiative (rayonnante ou lumineuse):** se dégage d'une source de lumière (soleil, feu ou ampoule électrique). L'énergie rayonnante du soleil est au cœur du phénomène de la photosynthèse (toutes les plantes grandissent et se développent grâce à lui) et du cycle naturel de l'eau (avec la phase d'évaporation).

### I.3 Tableau des différentes formes d'énergie.

- Le monde qui nous entoure produit naturellement différentes formes d'énergie (énergie associée à un objet en mouvement, énergie thermique, électrique...).
- Prendre conscience que l'être humain a besoin d'énergie pour vivre, se chauffer, se déplacer, s'éclairer...

Énergie cinétique	Énergie potentielle de position	Énergie chimique	Énergie thermique	Énergie nucléaire	Énergie de rayonnement	Énergie électrique
Une voiture de masse $m$ animée d'une vitesse $v$ possède de l'énergie cinétique.	Du fait de sa position, un cueilleur possède de l'énergie potentielle de position qui peut être convertie en énergie cinétique lorsqu'il tombe.	Le bois possède de l'énergie chimique qui lors de la combustion est convertie en énergies lumineuses et thermiques.	Un chocolat chaud possède de l'énergie thermique qui peut être transférée à celui qui le boit.	L'uranium possède de l'énergie nucléaire qui peut être convertie en énergie thermique dans les centrales.	Le Soleil transmet par rayonnement de l'énergie qui nous réchauffe et qui fait pousser les plantes.  Les filaments des ampoules électriques	La pile transmet par le courant électrique l'énergie électrique qui fait tourner le moteur.
						

Tableau I.1 : Les Sources d'énergie

### I.4 Transferts et conversions d'énergie

L'énergie ne peut être ni créée, ni détruite. Elle peut être transférée d'un objet à un autre ou convertie d'une forme en une autre.

Lorsque l'énergie d'un corps est transmise à d'autres corps on parle alors de transfert d'énergie, Lorsque l'énergie d'un corps change de forme on parle alors de conversion d'énergie. A propos des transformations chimiques **Lavoisier (1743 – 1794)** avait énoncé une règle simple : « *Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme* ».

Cette règle aussi vraie pour l'énergie: Lorsqu'une énergie diminue celle-ci n'est pas perdue: elle soit transférées à d'autres corps soit convertie en d'autres formes d'énergie. Lorsqu'une énergie augmente elle ne se crée pas à partir de rien: elle provient d'autres corps ou résulte de la conversion d'autres énergies.

### I.4.1 Transferts d'énergie

Un système peut échanger de l'énergie avec son environnement. On peut définir une multitude de systèmes mais il existe seulement 4 types de transfert d'énergie



Figure I.3 : Les différents transferts d'énergie

### I.4.2 Convertisseurs énergétiques

L'Homme ne crée pas d'énergie. Aucun animal, aucun être vivant, rien de cela sur Terre ne crée de l'énergie. Ce que nous faisons, c'est transformer de l'énergie d'une forme à une autre forme. Le monde contient beaucoup de "systèmes" qui transforment de l'énergie d'une forme à une autre. Une plante verte transforme de l'énergie de rayonnement électromagnétique (rayons du soleil) en énergie chimique : c'est la photosynthèse.

Les formes d'énergie peuvent donc se transformer. Quels sont les principes et les systèmes qui permettent ces transformations ? Voyons :

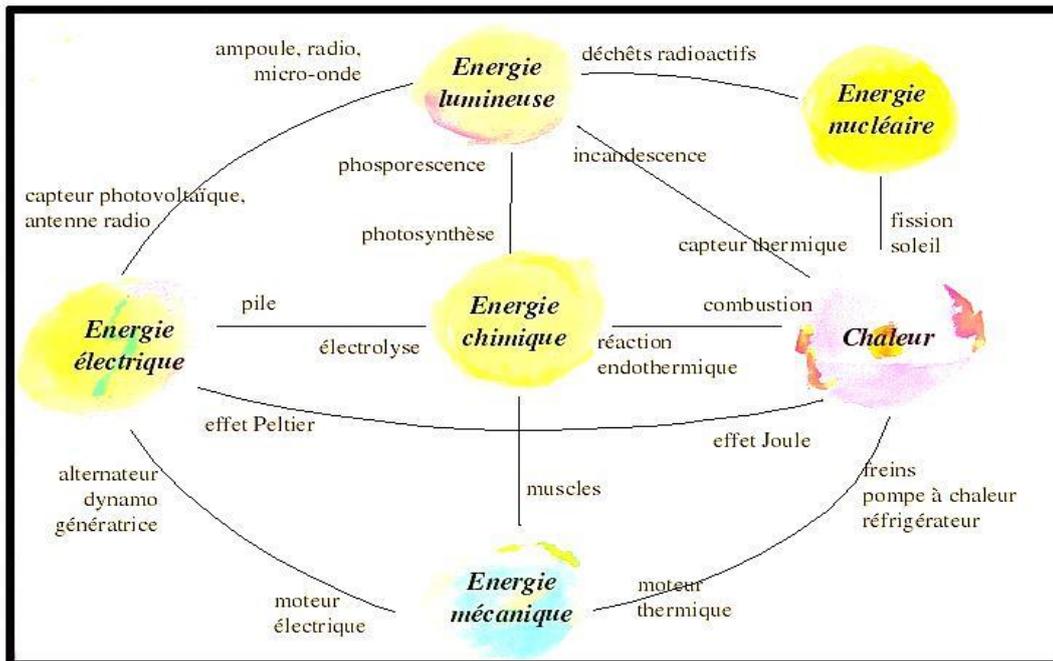


Figure I.4 : Le système de transfert d'énergie

Toutes les conversions ne sont pas encore disponibles. La base de données se remplira petit à petit.

#### I.4.2.1 L'oxydo-réduction

Énergie chimique -> Énergie rayonnante

Énergie chimique -> Énergie mécanique

Énergie chimique -> Énergie électrique

#### I.4.2.2 La combustion

Énergie chimique -> Énergie thermique

#### I.4.2.3 Les frottements

Énergie mécanique -> Énergie thermique

#### I.4.2.4 Le pompage

Énergie mécanique -> Énergie chimique

Énergie mécanique -> Énergie hydraulique

#### **I.4.2.5 L'effet Joule**

Energie mécanique -> Energie électrique

Energie électrique -> Energie thermique

#### **I.4.2.6 L'effet Seebeck**

Energie électrique -> Energie chimique

Energie électrique -> Energie rayonnante

Energie électrique -> Energie mécanique.

#### **I.4.2.7 La turbine à vapeur et l'alternateur (indirect)**

Energie thermique -> Energie électrique

#### **I.4.2.8 Incandescence / Rayonnement infrarouge**

Energie thermique -> Energie chimique

Energie thermique -> Energie rayonnante

Energie thermique -> Energie mécanique

#### **I.4.2.9 L'effet photovoltaïque**

Energie rayonnante -> Energie électrique

#### **I.4.2.10 L'absorption**

Energie rayonnante -> Energie chimique

Energie rayonnante -> Energie thermique

Energie hydraulique -> Energie mécanique

Energie nucléaire -> Energie thermique

### **I.5 Rendement énergétique et efficacité énergétique**

En physique, l'énergie est une grandeur unifiée qui permet de quantifier diverses transformations d'un système. Elle se manifeste sous forme de chaleur, de travail mécanique se traduisant par une mise en mouvement, de rayonnement électromagnétique, de transformations chimiques (à l'échelle moléculaire) ou nucléaires (à l'échelle des noyaux atomiques).

D'un point de vue physique, l'énergie ne se produit pas, ni se consomme, elle se transforme ou se convertit d'une forme en une autre. Assurer un service (déplacement, éclairage,

chauffage...), nécessite des transformations, donc une dépense d'énergie. L'énergie est transformée par un convertisseur d'énergie qui dépend du service à réaliser ; un convertisseur peut être un moteur électrique ou thermique, une lampe ou une chaudière...

Le rendement énergétique est le rapport entre deux quantités, l'énergie « produite », c'est-à-dire l'énergie utile pour réaliser un service, sur l'énergie « consommée », c'est-à-dire l'énergie absorbée pour réaliser ce service. L'efficacité énergétique est la quantification de la « consommation » d'énergie pour assurer un service, avec l'idée de la minimiser grâce à des technologies plus efficaces. Dans la plupart des cas, les services convertissent de l'énergie finale, qui est une forme d'énergie commercialisée et directement consommable. L'énergie finale est transformée à partir de ressources primaires (figure ...). Les ressources énergétiques primaires sont disponibles à l'état brut dans la nature, on peut les classer en deux catégories, celles de stocks non renouvelables (fossiles et fissiles) et celles de flux renouvelables. Les formes d'énergie finale sont directement utilisables dans les convertisseurs. L'énergie utile correspond quant à elle aux services énergétiques attendus.

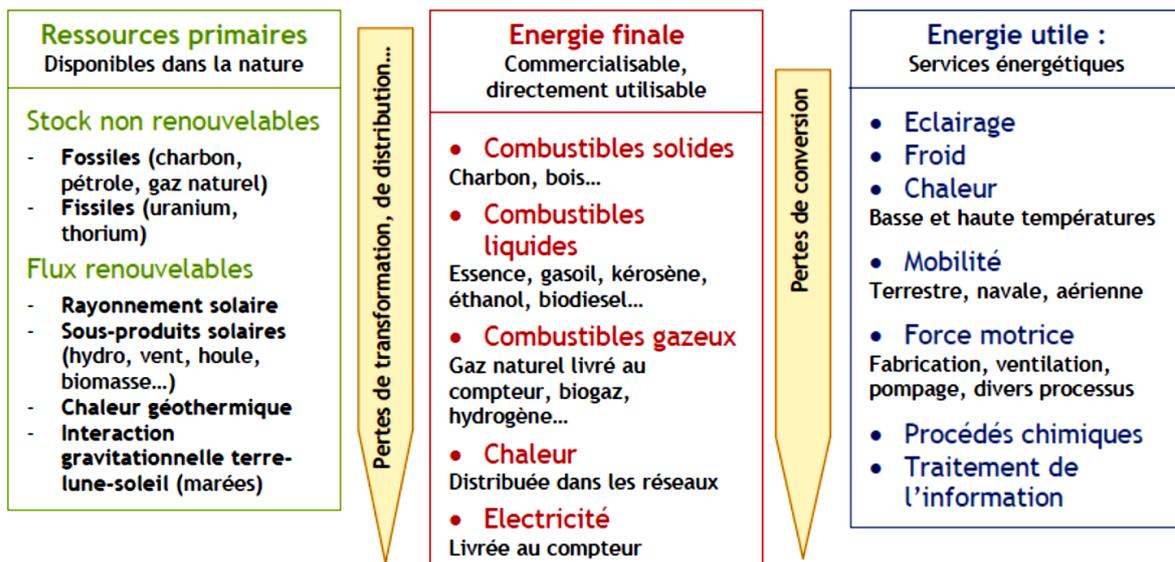


Figure I.5 : Des ressources primaires aux services énergétiques,[14] image B. Multon

On parle souvent de *producteurs d'énergie* (sous entendue finale) et de *consommateurs d'énergie* finale. Il s'agit d'une vision consumériste des conversions énergétiques mais dans tous les cas, il s'agit bien de **transformations énergétiques**.

Cependant, il semble pertinent de distinguer l'efficacité selon deux points de vue :

- La production d'énergie finale à partir de ressources primaires,
- La consommation d'énergie finale pour la transformer en service.

Au sein de ces procédés, se trouvent plusieurs convertisseurs d'énergie. Par exemple, produire de l'électricité à partir de combustibles non renouvelables (fossiles ou fissiles) nécessite :

- Une extraction minière avec des machines équipées de *moteurs* qui consomment de l'énergie finale (hydrocarbures liquides, électricité...),
- Des transformations des minerais en matières premières (acier, cuivre, terres rares...) par des procédés industriels exploitants également divers *convertisseurs*,
- Les transports et raffinage pour obtenir le combustible de qualité souhaitée,
- Enfin une conversion finale du combustible en électricité à l'aide de *brûleurs*, *turbines*, *générateurs*, *transformateurs*... tous des convertisseurs d'énergie.

Le service associé à des kilomètres parcourus avec une automobile nécessite également nombre de convertisseurs d'énergie. Tout d'abord pour fabriquer le véhicule depuis l'extraction des matières premières jusqu'à son recyclage en fin de vie. Puis, lors de son utilisation où l'énergie finale est consommée via le *moteur* en fonction de la taille du véhicule et de la conduite de son chauffeur.

Les questions de rendement énergétique des convertisseurs sont ainsi centrales lorsque l'on parle d'efficacité énergétique.

## I.6 Les unités d'énergie et de puissance

Un autre point fondamental, pour quiconque aspire à une bonne culture énergétique, est l'assimilation des unités. Même si le Système International n'en officialise qu'une seule, le Joule, il en existe beaucoup d'autres. On va également s'intéresser à la puissance -très liée à l'énergie-, en regardant ses unités.

### I.6.1 Les unités d'énergie

#### I.6.1.1 Le joule (J)

C'est l'unité reconnue par le Système International (SI). C'est une très petite quantité d'énergie, puisque cela ne permet -par exemple- que de soulever une pomme d'un mètre, ou

encore de réchauffer 1L d'air de 1°C. C'est pourquoi on va plutôt employer ses multiples, que sont le kilo-Joule (kJ, 1 000J), le méga-Joule (MJ, 1 000 000J), le giga-Joule (GJ, 1 milliard de Joules), voire même me tera-Joule (1000 milliards de Joules).

Le Joule correspond également à l'énergie consommée par un dispositif appelant 1 Watt, pendant une seconde.

### **I.6.1.2 La calorie (cal)**

Une calorie est l'équivalent de 4.18 J. C'est la quantité d'énergie qu'il faut pour réchauffer un gramme d'eau de 1°C. En nutrition, on parle maladroitement de calories. En réalité, il est question de kilo-calories (kcal), soit 4180 J.

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 4180 \text{ J}$$

### **I.6.1.3 Le Watt.heure (W.h)**

C'est l'énergie consommée par un dispositif appelant 1W, pendant une heure. En pratique, on utilise très souvent son multiple le kilo-Watt heure. C'est le cas notamment d'EDF, qui décompte vos consommations avec cette unité.

$$1 \text{ W.h} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ kW.h} = 3600 \text{ kJ}$$

### **I.6.1.4 La Thermie**

On l'utilise surtout dans le monde du chauffage ; elle est l'équivalent d'un million de calories.

$$1 \text{ thermie} = 4.18 \text{ MJ}$$

### **I.6.1.5 L'électron-Volt (eV)**

C'est une unité extrêmement faible, principalement utilisée en physique des particules.

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \text{ (} 0.00000000000000000016 \text{ J)}$$

### I.6.1.6 La British thermal unit (BTU)

C'est la quantité d'énergie requise pour élever de 1°F une livre (anglaise) d'eau.

1 BTU=1060 J (cette valeur peut varier légèrement d'une source à l'autre).

**Notez** qu'il existe d'autres unités (par exemple le erg, le Pascal.mètre cube, le litre atmosphère, ...), mais leur utilisation demeure très marginale.

## I.6.2 Les unités de puissance

### I.6.2.1 Le Watt (W)

C'est l'unité officielle du SI. 1W correspond à une énergie de 1J développée en 1 seconde. C'est la puissance qu'il faut développer pour « tirer » une charge de 1N, à la vitesse de 1 mètre par seconde. On utilise également ses multiples et sous-multiples (mW, W, kW, MW, GW, TW, etc...).

### I.6.2.2 Le cheval-vapeur (cv, hp en anglais)

Cette unité est surtout de rigueur dans le monde de l'automobile. La puissance des moteurs est en effet toujours exprimée en cv.

$$1\text{cv}=736\text{W}$$

$$120\text{cv}=88.3\text{kW (voiture courante)}$$

## I.6.3 Énergie ou puissance ?

Afin de saisir au mieux la notion d'énergie, il est capital de parfaitement la différencier de la puissance. Or, beaucoup de personnes font l'amalgame entre ces deux termes. A la question « Combien d'énergie consomme cette lampe chaque jour ? », il est fréquent d'entendre comme réponse « 60 Watt ». Or, le Watt renvoi à la notion de puissance.

Finalement, la puissance correspond à une quantité d'énergie consommée pendant un temps donné. L'unité la plus connue, le Watt, représente une consommation d'un Joule pour chaque seconde qui passe. Ainsi, pour reprendre notre exemple précédent, une lampe qui requiert une puissance de 60W va « avaler » 60 Joules par seconde.

Si l'on suppose maintenant que cette même lampe reste allumée 6 heures par jour, on peut facilement déterminer la quantité d'énergie consommée sur une journée.

- Énergie consommée/j = Puissance (en Watt) x Temps (en seconde)
- Énergie consommée/j = 60 x (6 heures x 60 minutes x 60 secondes)
- Énergie consommée/j = 1 296 000J

Chaque jour, la lampe va consommer 1296kJ (kilo-Joule = 1000J). Si l'on pousse le calcul sur l'année, en multipliant simplement par 365, on arrive à une valeur de 473MJ (Méga-Joule = 1 000 000J).

L'unité de l'énergie dans le Système International est le Joule [J]. Les factures d'électricité sont quantifiées en kilowattheure [kWh] ; pour les carburants, on parle plutôt de tonnes équivalent pétrole [tep]. Dans le tableau ci-dessous, quelques unités et leurs équivalences sont présentées.

nom	unité	équivalence
<b>Energie mécanique</b>	J	1 J = 1 N.m
<b>Energie électrique</b>	J	1J = 1V.1A.1s = 1V.6,2.10 <sup>18</sup> électrons
<b>électron-volt (particule)</b>	eV	1 eV = 1,6.10 <sup>-19</sup> J
<b>Unités de chaleur :</b>		
calorie	Cal	1 cal = 4,18 J
british thermal unit	BTU	1 BTU = 1050 J
quadrillon BTU (US)	quadBTU	1 quadBTU = 10 <sup>15</sup> BTU
<b>kilowattheure</b>	kWh	1 kWh = 3600 000 J = 3,6.10 <sup>6</sup> J = 3,6 MJ
<b>térawattheure</b>	TWh	1 TWh = 10 <sup>12</sup> Wh = 10 <sup>9</sup> kWh
<b>tonne équivalent pétrole</b>	tep	1 tep ≈ 11 600 kWh ≈ 41,7 GJ
<b>baril (159 l ou 140 kg)</b>		1 baril ≈ 1700 kWh

Tableau I.2 : L'énergie, unités et équivalence