

Les formes d'énergies

L'énergie se trouve au cœur même de la matière et l'on ne peut ignorer cela si l'on souhaite la comprendre afin de la produire plus intelligemment. Une fois produite on peut l'aborder sous ses aspects *primaire, secondaire* ou *utile* et enfin la consommer sous ses différentes formes *mécanique, hydraulique, thermique, ou électrique*.

Les interactions de la matière

Les interactions qui régissent l'état d'équilibre dans lequel se trouve la matière est au cœur même de la compréhension de l'énergie. En allant du plus puissant – pris comme valeur de référence – vers le moins puissant ou ce qui revient un peu au même dans l'ordre d'importance et de potentiel énergétique décroissant on situe ainsi les interactions qui régissent l'état d'équilibre dans lequel se trouve la matière.

L'interaction nucléaire forte (Force 10^0 ou le chiffre 1)

Son histoire commence en 1911 avec la découverte du noyau atomique par Rutherford mais ce n'est qu'en 1970 et avec les quarks que la théorie de l'interaction forte est élaborée avec la chromodynamique quantique ou QCD. L'interaction nucléaire forte permet la cohésion des noyaux atomiques en liant les protons et les neutrons au sein de ce noyau. Si cette interaction n'existait pas, les noyaux seraient instables et seraient dissociés sous l'effet de la répulsion électrostatique des protons entre eux. L'interaction forte est ainsi au cœur de la compréhension des réactions nucléaires. Elle est source d'énergie pour notre planète par exemple grâce à la fusion nucléaire sur le soleil.

L'interaction électromagnétique (Force 10^{-2} ou le chiffre 0,01)

L'interaction électromagnétique est à l'origine de tous les phénomènes électriques et magnétiques. Elle provient de la force répulsive ou attractive qui agit sur les objets ayant une charge électrique. Deux objets de charges électriques de même signe se repoussent alors que deux objets de charges électriques de signe opposé s'attirent. L'interaction électromagnétique permet la cohésion des atomes en liant les électrons (charge électrique négative) et le noyau des atomes (charge électrique positive). Elle est à la base des réactions chimiques et couvre les produits fossiles. Elle est liée aux ondes électromagnétiques, aux ondes radio, aux radars ainsi qu'aux rayons X et elle permet même d'expliquer la biologie avec certaines classes de molécules.

L'interaction nucléaire faible (Force 10^{-4} ou le chiffre 0,0001)

Son histoire commence en 1896 avec la découverte de la radioactivité par Becquerel. Elle évolue en 1933 lorsqu'E.Fermi élabore le premier modèle d'interaction faible incorporant l'existence non encore démontrée du neutrino. La radioactivité est au cœur même de la compréhension de l'interaction nucléaire faible et l'on pense que c'est la radioactivité naturelle qui est responsable de la source d'énergie importante qui maintient le magma en fusion sous la croûte terrestre.

La gravitation (Force 10^{-44} ou le chiffre 1 précédé de 43 zéros avant la virgule)

La masse de la terre a beau être très importante force est de constater que la gravitation est la moins puissante de toutes les interactions. L'électricité issue des barrages hydroélectriques provient de la gravitation. Le cycle de l'eau évaporation-condensation à l'origine de la pluie, du ruissellement et de la rivière c'est également la gravitation. Vu l'incapacité des barrages hydroélectriques à assurer la totalité

de nos besoins en énergie alors que notre pays comprends pourtant la plus haute chaîne montagneuse d'Europe, on pourrait légitimement s'interroger sur la capacité de la gravitation à assurer l'essentiel de nos besoin énergétiques. Cela serait le cas si la gravitation n'était étroitement associée aux deux interactions les plus puissantes : La *nucléaire forte* qui réchauffe la croûte terrestre superficielle en assurant le caractère renouvelable au chauffage thermodynamique et *l'électromagnétique* qui régit la chaleur spécifique de la matière et sa capacité à transmettre l'énergie thermique. Compte tenu de la surface de l'hexagone et de la hauteur pluviométrique moyenne en France proche du mètre c'est près de 10 000 m³ d'eau qui sont disponibles chaque année pour chacun des quelques 60 millions d'habitants qui le compose. En refroidissant ce volume d'eau de 3°C c'est quelque 30 000 kWh thermique qui sont récupéré pour chauffer les habitations ce chiffre correspondant sensiblement et selon **l'IRENA** à la moitié du besoin en énergie toutes énergies confondues des habitants de l'OCDE *

* Prenons comme exemple de calcul l'hexagone pour comparer ces différentes formes d'énergies en allant cette fois du moins puissant vers le plus puissant.

La surface de l'hexagone c'est 550 000 Km² (ou $5,5 \times 10^{11}$ m²) surface sur laquelle il tombe environ 750 Kg d'eau/m²/an (On parle d'une hauteur pluviométrique moyenne annuelle en France de 750 mm d'eau). Compte tenu de l'altitude moyenne de l'hexagone proche de 300 m, lorsque l'eau qui ruisselle en surface est descendue au niveau de la mer, le travail de son poids fourni du fait de la *gravitation* n'est que d'environ $7500 \times 300 = 2,25 \times 10^6$ joules ou 0,625 kWh par m². Notre pays avec sa production de quelques 70 TWh par les barrages hydroélectriques n'a pu récupérer que 20 % de cette énergie

Etant donné qu'il y a dans une année 8760 heures ou 31 536 000 secondes, le débit d'eau qui s'écoule vers la mer du fait des quelques $4,1 \times 10^{11}$ m³ d'eau que reçoit annuellement l'hexagone est de 13 000 m³/s (Dont 5000 m³/s qui arrive à la mer par les estuaires des fleuves si l'on ne tient pas compte de l'écoulement des nappes libres vers les nappes profondes et de l'évaporation). Si l'on ne prend en compte que le débit des fleuves, c'est une énergie thermique de $5\,000 \times 31\,536\,000 \times 3 = 473 \times 10^9$ kWh que notre pays peut récupérer en refroidissant de 3°C l'eau de nos fleuves (Ceci compte tenu de la chaleur spécifique de l'eau qui permet de récupérer environ 1 kWh en abaissant 1 m³ d'eau de 1 °C). On constate donc un potentiel de récupération d'énergie thermique encore inexploité par la thermodynamique de 0,86 kWh par m² et proche des besoins en chauffage de nos grandes villes.

Reste à savoir si ce potentiel est renouvelable ou non. Pour cela, il suffit de comparer aux chiffres ci-dessus l'énergie qui nous vient du soleil au 45° Nord et qui réchauffe les premiers mètres de la couche terrestre superficielle. Avec une puissance moyenne voisine de 350 watts/m² une fois franchi l'atmosphère, c'est tout de même un apport thermique solaire correspondant à une quantité d'énergie de $0,35 \times 8760 = 3000$ kWh par m² qui nous arrive du ciel tous les ans. Avec près de 9000 m² de surface de chauffe par français puisque nous sommes environ 60 millions d'habitants sur un hexagone de 550 000 km² c'est une quantité d'énergie de $3000 \times 9000 = 27$ millions de kWh que le soleil nous envoie généreusement annuellement. Quantité d'énergie près de 500 fois supérieure à la quantité d'énergie consommée en moyenne selon l'INRA par chacun des membres des pays de l'OCDE (55 000 kWh/an toutes énergies confondus). Comme on le voit, il n'y pas d'inquiétude à se faire à ce sujet.

L'énergie primaire (EP) > secondaire > finale (EF) > utile

A l'énergie finale rendue à notre domicile en bout de course s'ajoute l'énergie qu'il a fallu dépenser préalablement pour extraire, distribuer, stocker et produire avec une chaîne de production au rendement plus ou moins bon selon les cas en perdant de ce fait plus ou moins d'énergie au passage. L'énergie primaire est le total de toutes ces énergies consommées. Ce raisonnement peut se tenir pour le fioul, le gaz le bois ou l'électricité.

Cas de l'énergie électrique d'origine nucléaire

Un raisonnement par rapport à l'énergie électrique, produite en France à près de 80 % par le nucléaire, met en évidence un rapport entre l'énergie primaire et l'énergie finale compris entre 2,2 et 2,58 selon les organismes européens ce qui revient à dire en prenant la référence de 2,58 chiffre retenu par l'Ademe organisme français qui contrôle la RT 2012 que seulement 1 kWh d'énergie finale parvient à l'utilisateur pour 2,58 kWh d'énergie primaire. Pour comprendre ce chiffre, il est nécessaire de mettre en évidence le rendement de la chaîne énergétique utilisée avec le nucléaire (**Voir les chaînes énergétiques**). La chaleur intense générée par la transformation des chaînes atomiques dans le cœur du réacteur nucléaire sert à surchauffer l'eau à une température et une pression aussi élevée que possible. Ceci pour améliorer le rendement des turbines transformant en énergie mécanique l'énergie interne contenue dans la vapeur surchauffée. Pour améliorer le rendement, on augmente maintenant les températures à la source chaude jusqu'à des températures voisines de 250°C ce qui permet d'obtenir un coefficient de performance relativement modeste de $COP = (T_c - T_f)/T_c = (250 - 50)/273 + 250 = 200/523 = 0,38$. La différence $1 - 0,38 = 0,62$ étant les pertes thermiques malheureusement importantes dissipées sous forme de chaleur dans l'atmosphère et dans la rivière. Dissipations qui sont d'ailleurs en partie responsables du réchauffement climatique. On retrouve bien sensiblement le rapport entre l'énergie primaire égale à 1 et l'énergie finale 0,38 récupérée par l'homme sous forme électrique $1/0,38 = 2,63$ ce chiffre proche de 2,58 pouvant varier sensiblement selon les températures à la source chaude et à la source froide (Prise ici égale à 50°C) ainsi d'ailleurs qu'aux pertes en ligne par effet Joule du réseau de distribution qui ne sont pas tout à fait négligeable (Proches de 5 %) ceci malgré les très hautes tensions utilisées pour la distribution de l'électricité (**Voir transport de l'énergie**). Le rendement de la chaîne énergétique des centrales nucléaires est donc relativement modeste mais elle ne génère pratiquement pas de CO₂.

Énergie utile = énergie Finale x coefficient de performance

Reste une dernière étape très importante avant que l'énergie thermique n'arrive dans nos pièces de vie : Celle touchant le rendement du générateur de chaleur.

Si l'on prend l'exemple du chauffage électrique deux cas de figure se présente :

1. Le chauffage électrique à effet joule avec un COP de 1 :
1 kWh électrique = 1 kWh thermique
2. Le chauffage électrique par PAC à compresseur avec un COP de 4 (pour exemple)
1 kWh électrique x 4 = 4 kWh thermique, 3 kWh thermique étant prélevés dans l'environnement.
Avec un COP de 4 une pompe à chaleur est donc 4 fois plus performante qu'un radiateur électrique à effet Joule.

Dans le cadre de la consommation d'énergie pour le chauffage, la climatisation, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage des locaux et de tous les auxiliaires électroménager, les réglementations thermiques françaises ont donc introduites ces notions *d'énergie primaire, d'énergie*

finale et enfin *d'énergie utile* faisant intervenir en définitive le rendement de la chaîne énergétique utilisée pour produire l'énergie utile arrivant à l'utilisateur. Pour simplifier, le coefficient de transformation de l'énergie primaire en énergie finale, différente selon les pays en fonction des chaînes énergétiques utilisées a été estimé pour la France de la façon suivante:

<i>Energie</i>	<i>Energie primaire (EP)</i>	<i>Energie Finale (EF)</i>
bois	0,6 kWh*	1 kWh
gaz/fioul	1 kWh	1 kWh
Electricité	2,58 kWh**	1 kWh

** la justification de ce chiffre est complexe et est plutôt une convention qui mérite examen dans la mesure où la quantité de gaz carbonique dégagée par le bois qui se décompose lentement est la même que celle qui se forme lors de la combustion. La formation de CO₂ est seulement plus rapide avec une constatation: une fois coupée pour les besoins de la combustion le bois n'absorbe plus le CO₂ qu'il aurait absorbé s'il n'avait pas été coupé. Pour cette raison la théorie de l'Oncle Vania « Back to the trees » n'est probablement pas la solution si elle devait se généraliser avec la démographie actuelle.*

*** ce chiffre différent pour chaque pays européen est fonction du mode de production utilisé localement par chaque pays pour produire l'électricité. La chaîne de production utilisée en France étant on vient de le voir principalement nucléaire est liée au rendement des centrales nucléaires actuelles voisin de 35 %. Les Lutins thermiques qui vont nous guider dans la suite de ce livre ne comprennent pas pourquoi ce chiffre n'est pas revu à la baisse compte tenu de l'amélioration des performances des centrales nucléaires. Un coefficient de conversion de l'énergie électrique finale en énergie primaire voisin de 2 serait plus conforme au fait que les pertes thermiques dans l'environnement sont maintenant plus faibles et plus proche de 50 % que de 61 %. Ils estiment que le Président de l'association des pompes à chaleur (AFPAC) a raison de dire que **le coefficient de 2,58 utilisé dans la RT 2012 devrait être harmonisé** avec la directive européenne et évoluer par exemple tous les 5 ans en fonction de l'évolution des moyens de production . Si aujourd'hui la valeur de 2,58 était remplacée dans la RT 2012 par une valeur de 2,2, les conséquences seraient immédiates et permettraient au chauffage électrique de retrouver des couleurs par rapport au gaz. Les Lutins thermiques ne comprennent pas non plus pourquoi la loi instaure un bonus-malus sur l'énergie qui privilégie le chauffage au gaz par rapport au chauffage électrique alors que tous les hommes politiques français s'accordent à condamner l'exploitation du gaz de schiste.*

*Energie primaire (EP) selon le mode de chauffage des logements en France**

	NB en millions de logements ¹⁾	NB en %	EP en 2012	EP avec TRI à minima
Gaz naturel	9,03	34,4	34,4	14,3 ³⁾
Electricité	7,94	30,3	78,2	32,5 ³⁾
Fioul	4,63	17,7	17,7	7,4 ³⁾
Chauffage urbain	1,29	5	5	5
Charbon ²⁾	1,17	4,5	4,5	4,5
Bois ²⁾	1,17	4,5	2,7	2,7
Gaz liquéfié (GPL)	0,6	2,3	2,3	1,1
Autres moyens	0,35	1,3	-	-
Totaux	26,19 millions	100	145	67,5
soit 2,3 habitants en moyenne par logement				

¹⁾ Données Wikipédia pour le NB de logements

²⁾ Bois et charbon supposé en quantités égales

³⁾ Pourcentage de PAC air-eau et eau-eau supposée égal à 50/50 avec COP moyen de 4

La colonne de droite montre ce que pourrait être en France la consommation en EP sur la base d'une TRI à minima combinant **deux fluides au sein d'une chaufferie mixte**.

Elle prouve (Voir cellules grisées) que la consommation d'énergie primaire pourrait être divisée par deux pour le chauffage des logements parcourant ainsi sensiblement la moitié du chemin qui nous sépare de la **stratégie européenne de l'énergie dite du 20-20-20**.

Les renouvelables

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant suffisamment rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle humaine (Elle dure de nombreuses générations) Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers et répétitifs provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) ainsi que la Terre (énergie géothermique profonde). Le pétrole, le gaz naturel et le charbon ne sont pas des énergies renouvelables car il faudra des millions d'années pour reconstituer les stocks d'énergie fossile que l'on consomme actuellement en quelques décennies. De même, la réserve d'uranium disponible sur Terre étant limitée, l'énergie nucléaire actuelle, issue de la fission des atomes d'uranium, ne peut pas être considérée une énergie renouvelable. Seuls les réacteurs à fusions, en cours d'expérimentation, dont le carburant (des isotopes de l'hydrogène présents dans l'eau des océans de façon quasi illimité à l'échelle humaine), seraient des moyens de productions d'énergie utilisant une énergie renouvelable.

Les 4 énergies de base

Selon les Lutins thermiques, on ne changera pas l'énergie, elle restera *mécanique, hydraulique, électrique, thermique*. Ce qui changera selon eux est la façon dont ces formes d'énergies seront converti entre elles en intégrant mieux les saisons, en profitant des propriétés de la matière et en tenant compte des lois qui régissent la conservation de l'énergie ainsi que des équivalences entre les paramètres du système d'unité internationale SI. (Voir par exemple les deux applications pratiques ci-dessous)

Type d'énergie	Electrique	Thermique	Hydraulique	Mécanique
Puissance P				
Formules	P = UI	P = QTc = Qe	P = Q p	P = Fv = C ω
Unités de P en watt	Avec Tension U en volts Courant I en Ampère P en watt Avec loi d'ohm $U = R I$ R résistance électrique (ohms)	Avec - Débit Q en g/s - Température T °K - c chaleur spécifique du fluide en joule/g et °C - e enthalpie du fluide en joule/g	Avec Débit Q m3/s et pression p en N/m ² ou P = 2,77 Q p avec Débit Q en l/mn et pression p en bar (1 bar = 10 ⁵ N/m ²)	Avec en linéaire - Effort F en newton - Vitesse V en m/s Ou en rotation - Couple C en m N**(newton) - ω rd/s
Pertes de puissance	$\Delta P = I (U_1 - U_2) = R I^2$	$\Delta P = Q(T_e - T_s)c$	$\Delta P = Q(p_1 - p_2)$	Frottement f
Remarque	Effet joule. Chute de tension en ligne par effet joule $U_1 - U_2$	Chute de température en ligne $T_e - T_s$	Pertes de charge en ligne $P_1 - P_2$	Le frottement s'oppose au mouvement
Energie = Puissance x temps W = P t* avec W (joule), P (watt), t (secondes)				
Formules W en joule 1 joule/s = 1 watt	W = R i² t	W = m (T₁ - T₂) c	W = Q (p₁ - p₂) t	W = f d (pertes) W = mgh (potentielle) W = 1/2 mv² (cinétique)
Transport				
Type d'énergie	Electrique	Thermique	Hydraulique	Mécanique
Commodité	Assez bon rendement Grande distance	Mauvais rendement (pertes) Distance moyenne	Assez bon	Bon rendement Petite distance coûteux
Remarques	On diminue les pertes en ligne par effet joule en augmentant la tension U	L'eau est souvent le fluide qui transmet la puissance. On diminue les pertes en ligne par calorifugeage des tuyaux	On diminue les pertes de charge en ligne en augmentant le diamètre des tuyaux	
Le stockage de l'énergie (Appréciations)				
Electrique : L'électricité est difficile à stocker avec les piles. Il faut cependant citer dans le cadre du stockage de l'énergie développée par les éoliennes, la société américaine <i>ZincAirinc</i> basée dans le Montana qui vient de développer une technologie de batteries "vertes" capables de restituer une puissance instantanée de 1000 kW pendant près de 19 heures Thermique : Le stockage thermique possible grâce à la chaleur spécifique des corps commence à être utilisé à grande échelle dans les centrales solaires électriques afin qu'elles puissent continuer à produire de l'électricité lorsque le temps est couvert ou la nuit. L'Espagne va exploiter prochainement sa 3ème et gigantesque CST <i>Andasol 3</i> fonctionnant sur ce principe Hydraulique : - Les STEP on l'a vu précédemment qui permettent de stocker sous forme potentielle des quantités d'énergie considérables proche du milliard de kWh, - Les accumulateurs hydrauliques qui peuvent restituer des puissances importantes mais pendant des temps relativement courts Mécanique : La société américaine <i>Beacon Power</i> a annoncé en 2011 le fonctionnement à pleine puissance d'un volant d'inertie mécanique capable de développer une puissance mécanique de 20 000 kW sous la forme d'une énergie mécanique cinétique. Cette puissance est destinée à stabiliser le réseau électrique de New York pendant des temps relativement courts				

Equivalences et correspondances

Il y a quelques équivalences entre les énergies :

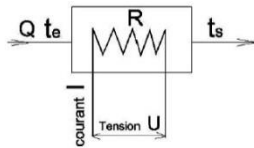
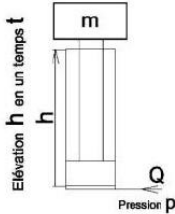
- L'équivalence entre les énergies thermique et mécanique (1 cal = 4,18 joules) une calorie étant par définition la quantité de chaleur nécessaire pour élever un gramme d'eau de un °C

- Les deux équivalences entre l'énergie thermique et la masse de la matière à savoir:

- Celle relative à l'enthalpie du fluide caloporteur avec le chauffage thermodynamique qui s'exprime en kilojoule/kg
- Celle relative à la fusion nucléaire qui peut être assimilée à une énergie cinétique convertie en chaleur avec diminution de la masse selon la célèbre formule d'Einstein

$W = mc^2$, formule valable selon Wikipédia dans le système international d'unités SI, soit W en joules si m est exprimé en kg et la vitesse de la lumière c en m/s ($c = 300\,000\,000$ m/s). Lorsque l'on observe cette formule formulée - et non démontrée - par Poincaré dans ses études sur l'électromagnétisme et par Einstein 5 ans plus tard on ne peut que faire le rapprochement avec la formule facile à démontrer de l'énergie cinétique mécanique dans notre champ gravitationnel conventionnel $W = 1/2 mv^2$. Reste ce rapport de 1/2 qui différencie les deux formules et qui pourrait avoir trouvé une suite dans le moteur surnuméraire à dégravitation de Léon Raoul Hatem et dans les travaux de G. Romero et Rubtsov, en rapprochant l'infiniment grand et l'infiniment petit l'un de l'autre en quelque sorte.

- Il y a aussi les correspondances en rapport avec la combustion des combustibles fossiles : La combustion de 1 litre de fioul ou de 1 m³ de gaz naturel génère une énergie thermique sensiblement égale à 10 kWh

Type d'énergie	Electrique	Thermique	Hydraulique	Mécanique
<i>Système d'unités internationale SI distance m, surface m², volume m³</i>				
Puissance P watt Energie W joules j Temps t secondes s Distance h mètre m Masse m en kg	Tension U volts Intensité I Amp. Résistance électrique R (ohms)	Débit massique Q en kg/s Chaleur spécifique c fluide joule/g et °C Enthalpie e du fluide en joule/g	Débit volumique Q en m ³ /s Pression p en N/m ²	Effort F en Newton N**** - Vitesse linéaire V en m/s - Vitesse angulaire ω en rd/s 1 rd = 57,2°
<i>Applications pratiques</i>				
	Chauffe-eau instantané sans ballon  $P = UI = Q(T_e - T_s)c$		Elévateur hydraulique  Energie W = mgh Puissance P = $UI = mgh/t$	

* Une puissance de 1 kW développée pendant une heure fournit une énergie de 1 kWh

** Le couple développé par une éolienne est proportionnelle au carré de la vitesse du vent. La puissance d'une éolienne est donc proportionnelle au cube de la vitesse du vent.

*** v Vitesse de la lumière

**** Un Newton (N) est l'effort agissant sur une masse de 1 kg située dans le champ gravitationnel g de 9,81 m/s²

Autre exemple faisant intervenir les énergies mécanique, hydraulique et électrique : **La STEP.**

Autre exemple passionnant, faisant intervenir deux unités de base non décrites ci-dessus (Le candela pour l'intensité lumineuse et le Mole pour la combustion des ordures prouvant qu'il est possible de concevoir un dispositif totalement autonome en gérant électroniquement les flux énergétiques rentrant et sortant de différentes natures et en choisissant la source la plus intéressante : Ensoleillement, vent, eau, combustion des ordures, (solaire thermique et photovoltaïque, éolien, hydroélectrique, et électromagnétisme pour l'amplification de puissance).