

## Chapitre 1 Dispositifs de production d'énergie électrique

### 1. Notions sur les transformations d'énergie (mécanique ; thermique ; hydraulique, ...),

#### 1.1. Formes d'énergies

Deux formes d'énergie sont possibles : Energie libre et énergie stockée.

#### 1.2. Energie libre

- Le **rayonnement**, visible (lumière) ou invisible (ondes de radio, rayons X, etc.).
- La **chaleur**: un apport de chaleur conduit à une augmentation de température (par exemple, un radiateur) et inversement (réfrigérateur).
- L'énergie **cinétique**, associée au mouvement
- L'**électricité**. Pour des raisons pratiques, cette forme a vu un développement industriel considérable. Ce n'est pas, à proprement parler, une énergie « visible » mais comme on sait qu'il s'agit du déplacement d'un « courant électrique » (en fait des électrons) dans des conducteurs, on peut qualifier de « libre » cette forme d'énergie.

#### 1.3. Energies stockés

Il est possible de stocker l'énergie sous forme de :

- **Chaleur** : l'énergie géothermique, constituée de la chaleur emmagasinée au sein de la terre dégagée par la radioactivité naturelle (Emmagasiner la chaleur dans des briques la nuit et les utiliser le jour pour diminuer la facture de l'électricité).
- **Cinétique** : le volant d'inertie d'un moteur représente un exemple de stockage d'énergie sous cette forme.
- **Potentielle** : Dans l'élastique de la fronde : on accumule de l'énergie potentielle en faisant travailler une force.
- L'énergie **gravitationnelle** (la force de la pesanteur)

**Exemple** : Le barrage hydroélectrique, dont le lac constitue une réserve disponible pour compléter, si nécessaire, d'autres sources de production d'électricité.

- L'énergie **chimique** utilise les forces, de nature électromagnétique, reliant les atomes au sein des molécules : en réarrangeant les atomes pour former de nouvelles molécules à partir des molécules initiales, on fait travailler, dans un sens ou dans l'autre, les forces de liaison entre les atomes, et on libère ou on stocke de l'énergie.
- L'énergie **nucléaire** utilise les forces agissant entre les nucléons (protons et neutrons) des noyaux atomiques. Là aussi, en réarrangeant différemment ces nucléons, on peut espérer faire travailler ces forces, changer ainsi l'énergie interne et stocker ou libérer de l'énergie.

#### 1.4. Transformations d'énergies

Les quatre formes d'énergie libre sont l'énergie rayonnante, l'énergie thermique (ou chaleur), l'énergie mécanique (ou cinétique) et l'énergie électrique. Cela fait douze transformations susceptibles d'être réalisées : toutes sauf deux ont des applications dans la vie courante ou dans l'industrie.

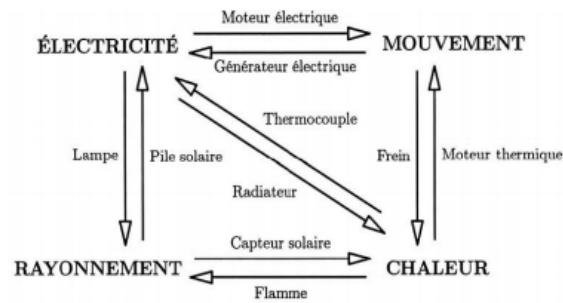


Figure 1. Transformations d'énergie

- Transformation de l'énergie **rayonnante** en énergie **thermique** : elle est réalisée, par exemple, par les capteurs de rayonnement solaire fournissant l'eau sanitaire pour une habitation ou pour échauffer un fluide en vue d'une production d'électricité.
- Transformation de l'énergie **rayonnante** en énergie **mécanique**: cette transformation est à l'origine de la poussée de radiation qui fait que la queue des comètes est toujours à l'opposé du Soleil. La force de cette poussée est faible et elle n'a pas trouvé d'application industrielle.
- Transformation de l'énergie **rayonnante** en énergie **électrique**: cela est réalisé dans les convertisseurs photovoltaïques, par exemple les panneaux solaires d'un satellite artificiel ou à usage domestique.
- Transformation de l'énergie **thermique** en énergie **rayonnante**: c'est l'incandescence, c'est-à-dire l'émission spontanée de rayonnement par les corps à une température non nulle et cela d'autant plus que la température est élevée ; exemple: le rayonnement du Soleil, dont la surface est à environ 6 000 °C.
- Transformation de l'énergie **thermique** en énergie **mécanique**: c'est que ce réalise la machine à vapeur et, plus généralement, les turbines et moteurs thermiques, tels ceux des voitures automobiles.
- Transformation de l'énergie **thermique** en énergie **électrique**: cette conversion directe est réalisée dans les convertisseurs thermoélectriques (par exemple, les thermocouples utilisés pour des mesures de température) et thermoïoniques. (Industriellement, on passe plus souvent par l'intermédiaire de l'énergie mécanique, par exemple dans les centrales électriques classiques ou nucléaires).
- Transformation de l'énergie **mécanique** en énergie **rayonnante** : elle est observée dans le bremsstrahlung (rayonnement de freinage ou rayonnement synchrotron) utilisé dans des accélérateurs de particules pour créer un rayonnement intense de photons, tel Soleil à Saint-Aubin (Essonne) ; mais cette transformation n'a pas d'autre application industrielle.
- Transformation de l'énergie **mécanique** en énergie **thermique**: cette transformation est inévitable dans des frottements et des chocs ; elle est, par exemple, observée dans les freins qui chauffent.
- Transformation de l'énergie **mécanique** en énergie **électrique** : ce sont les générateurs électriques (dynamos, alternateurs) qui réalisent cette transformation.
- Transformation de l'énergie **électrique** en énergie **rayonnante** : cela se produit dans les décharges (étincelles, éclairs) et l'électroluminescence (par exemple, les tubes à néon) ; on remarquera que dans les lampes les plus usuelles (à incandescence), il y a un passage intermédiaire par la chaleur.
- Transformation de l'énergie **électrique** en énergie **thermique** : c'est «l'effet Joule », c'est-à-dire le dégagement de chaleur dans tout conducteur parcouru par un courant

électrique; cet effet correspond souvent à une perte, mais il peut aussi être recherché (radiateur électrique).

- Transformation de l'énergie **électrique** en énergie **mécanique** : c'est ce que réalisent les moteurs électriques ; citons aussi la piézo-électricité qui est l'apparition de charges électriques à la surface de certains cristaux mis sous contrainte et, inversement, leur déformation sous l'action d'un champ électrique: ce dernier effet est utilisé dans les montres à quartz.

## 2. Historique

L'évolution de nos sociétés humaines est très étroitement liée à la découverte d'énergie. En apprenant à maîtriser le feu, la force du vent et de l'eau, à utiliser le bois, le charbon, le pétrole... les hommes ont sans cesse cherché à améliorer leur bien-être.

La facilité du transport par câbles de l'énergie électrique est la raison de l'utilisation intensive de cette forme d'énergie dans les sociétés industrielles.

### 2.1. Volta

En hommage aux découvertes d'**Alessandro Volta**, l'unité de tension électrique a été nommée : **le volt**.

A partir de 1792, Alessandro Volta étudie à son tour le fonctionnement du muscle d'une grenouille et il démontre que ce n'est pas la matière vivante qui produit l'électricité, mais bel et bien les métaux. En observant la puissance électrique dégagée par les raies torpilles, dont le dos est constitué de motifs répétés, il comprend qu'en empilant des couples de disques zinc-cuivre, mis les uns sur les autres, mais séparés d'un tissu imbibé d'eau salée, on disposait là d'une invention majeure. En 1800, après avoir approfondi ses recherches, il crée **la première pile électrique**, produisant pour la première fois du courant en continu. La pile voltaïque est née. Mais elle ne peut pas stocker de grosses quantités d'électricité. La pile de Volta suscite un énorme intérêt dans le monde scientifique car le courant électrique est alors un phénomène nouveau et inattendu.



Figure 2. Pile électrique de Volta

### 2.2. Ørsted

Le chimiste et physicien **Hans Christian Ørsted** publie le 21 juillet 1820 le compte rendu de ses observations portant sur la déviation d'une aiguille aimantée sous l'action d'un fil électrique parcouru par un courant et placé à proximité. C'est à partir de cette expérience établissant un lien entre magnétisme et électricité qu'Ampère développe une première théorie de l'électromagnétisme.

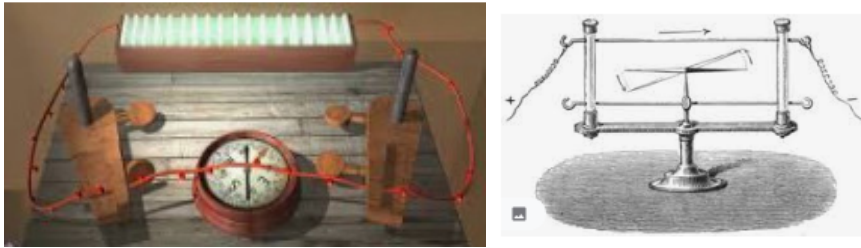


Figure 3. Expérience d'Oersted

### 2.3. Faraday

À la fin de 1821, Michael Faraday mit au point l'ingénieux dispositif montrant comment un courant électrique agit sur un pôle magnétique isolé et réciproquement. Cette action, qui se traduit par une rotation continue et fournit le principe d'un moteur nouveau.

Faraday s'est dit, que si un courant électrique traversant un solénoïde produisait un champ magnétique, il serait donc possible de produire un courant électrique en créant un champ magnétique. Pour y arriver, il prit un aimant. Cependant, il faut que l'aimant soit en mouvement pour qu'il y ait de l'électricité.

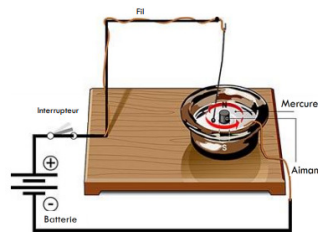


Figure 4. Expérience de Faraday.

À l'aide d'un bol de mercure, d'un aimant et d'un bout de liège, Faraday réussit à tourner partiellement l'aiguille d'une boussole par magnétisme.

### 3. Dynamo et Alternateur

La dynamo est une machine transformant de l'énergie mécanique en énergie électrique (sous forme de courant continu).

Dans l'alternateur, un aimant géant appelé ROTOR tourne à l'intérieur d'un bobinage de fils de cuivre nommé STATOR. La force ainsi produite expulse les électrons de leurs atomes et induit dans les fils de cuivre un flux d'électrons, c'est-à-dire l'électricité. Les électrons peuvent alors être envoyés, par les lignes de transport, là où on en a besoin

On emploie des roues géantes appelées TURBINES pour faire tourner les aimants à l'intérieur de l'alternateur, ce qui nécessite beaucoup d'énergie. La source d'énergie varie selon le type d'installation de production.

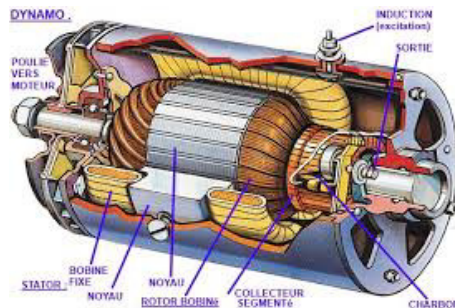


Figure 5. Alternateur

#### 4. Modes de production de l'énergie électrique

La plupart des installations de production d'électricité – centrales nucléaires, hydrauliques ou à combustible fossile et les éoliennes – font exactement le même travail : elles transforment l'énergie cinétique, c'est à dire l'énergie du mouvement, en un flux d'électrons que l'on appelle « électricité ».

Dans une centrale, on a recours à un énorme **ALTERNATEUR** pour produire de l'électricité. Dans l'alternateur, un aimant géant appelé **ROTOR** tourne à l'intérieur d'un bobinage de fils de cuivre nommé **STATOR**

On emploie des roues géantes appelées **TURBINES** pour faire tourner les aimants à l'intérieur de l'alternateur, ce qui nécessite beaucoup d'énergie. La source d'énergie varie selon le type d'installation de production – on utilise un flot déversant dans une centrale hydraulique, la vapeur dans une centrale nucléaire ou une centrale thermique qui brûle un combustible fossile et la force de l'air en mouvement dans une éolienne.

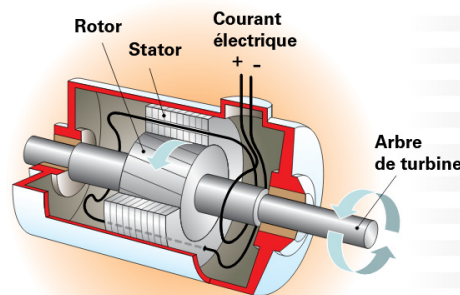


Figure 6. Schéma d'un Alternateur

##### 4.1. Demande d'électricité

À la différence d'autres produits, l'électricité doit être consommée dès qu'elle est produite. Il n'existe à l'heure actuelle aucune façon économique de stocker d'importantes quantités d'électricité pour l'utiliser par la suite. On doit constamment équilibrer l'offre et la demande. À mesure que la demande s'accroît, l'offre doit augmenter proportionnellement.

##### 4.2. ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Les centrales nucléaires utilisent de l'URANIUM pour produire de la chaleur, qui sert ensuite à faire bouillir de l'eau pour la transformer en vapeur. Des 92 éléments qui composent la Terre, l'uranium est celui qui possède les plus gros atomes, et c'est donc leur noyau qui a le plus de chance de se fractionner.

Une simple pastille de combustible nucléaire peut alimenter une maison de taille moyenne pendant six semaines.

**Remarque**

*Une pastille peut produire la même énergie que 807 kg de charbon ou 677 L de mazout ou aussi 476 m<sup>3</sup> de gaz naturel.*



Figure 6. Dimensions d'une pastille.

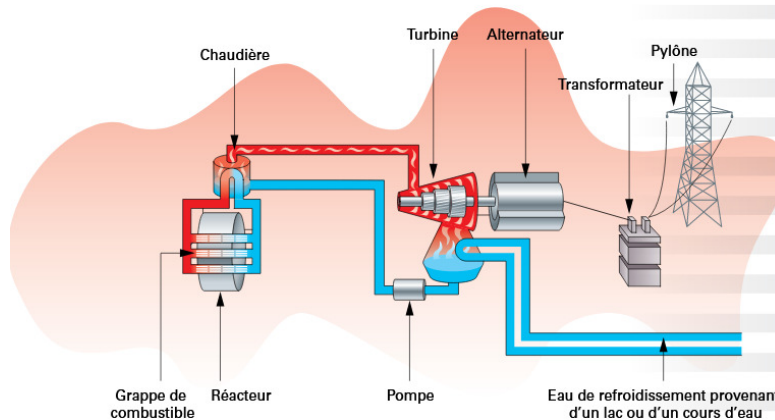


Figure 8. Schéma d'une centrale nucléaire

La chaleur produite du réacteur fera bouillir de l'eau pour produire de la vapeur qui entraînera une turbine et un alternateur, produisant ainsi de l'électricité.

**Remarques**

*Comme ces centrales ne brûlent aucun combustible, elles ne génèrent pratiquement pas de smog ni de gaz à effet de serre. En revanche, elles génèrent des déchets nucléaires, qui doivent être traités et stockés avec un soin extrême. Elles nécessitent d'être placées près d'un lac ou d'un cours d'eau.*

**4.3. ÉNERGIE HYDRAULIQUE**

L'eau est recueillie au sommet du barrage dans le RÉSERVOIR DE RETENUE. À partir de là, elle s'écoule dans une CONDUITE FORCÉE, qui la transporte vers une TURBINE HYDRAULIQUE. La pression de l'eau augmente à mesure qu'elle s'écoule dans la conduite forcée. La pression et le débit de l'eau qui tombe actionnent la turbine qui fait tourner un alternateur, créant ainsi de l'électricité qui est ensuite envoyée par les lignes de transport aux endroits où on en a besoin.

Cette source d'énergie renouvelable – l'eau peut être utilisée indéfiniment – ne génère pratiquement pas de smog ni de gaz à effet de serre.

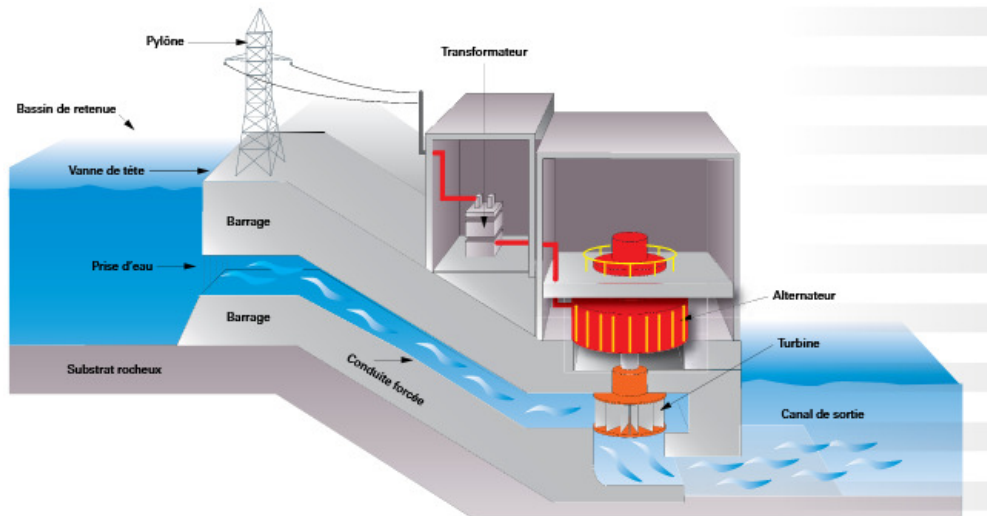


Figure 9. Schéma d'une centrale hydraulique

#### 4.4. ÉNERGIE THERMIQUE

Les centrales thermiques brûlent du CHARBON, du MAZOUT ou du GAZ NATUREL pour produire de l'électricité.

La chambre de combustion est entourée de conduites d'eau. La chaleur intense dégagée par la combustion du charbon transforme en vapeur l'eau des conduites. La vapeur est ensuite transférée, sous pression et à haute vitesse, par de gros tuyaux à une turbine dont elle fait tourner les ailettes. À partir de là, le processus est le même que dans une centrale nucléaire ou hydraulique : la turbine fait tourner l'alternateur, qui produit l'électricité. La vapeur est condensée et retransformée en eau au moyen de l'eau de refroidissement provenant généralement d'un lac ou d'un cours d'eau voisin. L'eau est ensuite pompée et acheminée dans les conduites entourant la chambre de combustion pour reprendre le processus.

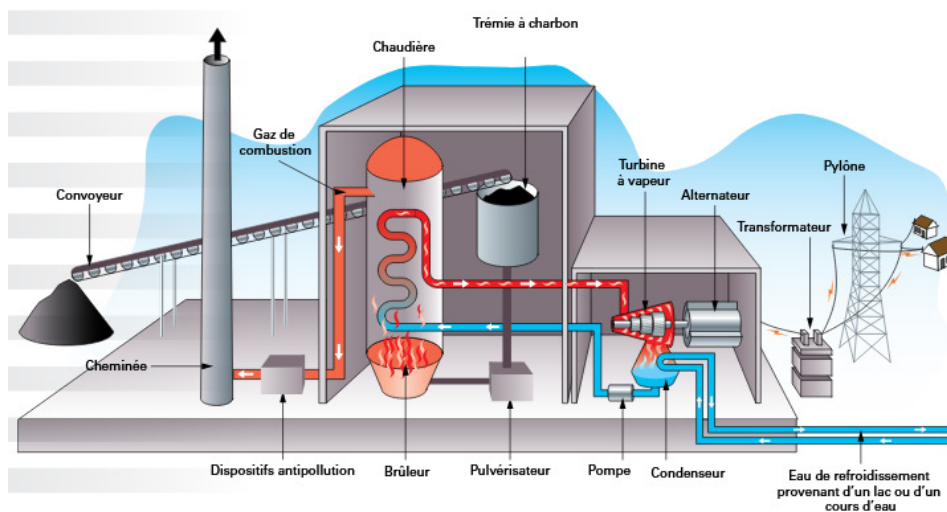


Figure 10. Schéma d'une centrale thermique à charbon

#### 5. Sources d'énergies

L'énergie peut être classée selon sa source en renouvelable et non renouvelable.

### 5.1. Sources d'énergies non renouvelables

Les sources d'énergies non renouvelables sont :

- Pétrole, charbon, gaz naturel (ressource fossile)
- Uranium (ressource nucléaire)

### 5.2. Sources d'énergies renouvelables

Les sources d'énergies renouvelables sont :

- Air en mouvement, vent (ressource éolienne)
- Soleil (ressource solaire)
- Eau retenue (ressource hydraulique)
- Eau en déplacement (ressource hydraulique)

- **Biomasse**

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant se transformer en énergie. On entend par matière organique aussi bien les matières d'origine végétale (résidus alimentaires, bois, feuilles) que celles d'origine animale (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol).

Il existe trois formes de biomasse présentant des caractéristiques physiques très variées :

- ✓ les solides (ex : paille, copeaux, bûches) ;
- ✓ les liquides (ex : huiles végétales, bioalcools) ;
- ✓ les gazeux (ex : biogaz).

- **Terre (ressource géothermique)**

L'énergie géothermique est emmagasinée sous la croûte terrestre. Son exploitation, qui présente de nombreux aspects positifs, peut-être réalisée de façon durable : il s'agit d'une source renouvelable pratiquement inépuisable, qui fournit une énergie thermique et électrique de façon ininterrompue, avec une puissance constante. Respectueuse de l'environnement, elle contribue à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, requiert une emprise au sol limitée, et de par sa nature endogène, réduit la vulnérabilité inhérente aux importations d'énergie.

L'énorme quantité d'énergie enfermée dans le sous-sol de la Terre, issue notamment du processus de formation primitif de l'univers, vient en partie de la désintégration des isotopes radioactifs (uranium, thorium et potassium) présents principalement dans la croûte terrestre, et en second lieu dans le manteau. Le centre de la Terre, dont la température est estimée à plus de 5 000°C, émet donc un flux thermique en direction de la surface, qui s'ajoute au flux thermique d'origine radiogénique. Au total, d'après les estimations, la puissance thermique ainsi émise par la Terre serait d'environ  $42 \times 10^{12}$  W. Le flux thermique terrestre moyen, quant à lui, équivaldrait à 65 mW/m<sup>2</sup> pour la croûte continentale et à 101 mW/m<sup>2</sup> pour la croûte océanique.





Figure 11. Maison alimentée par l'énergie géothermique

o **Marées (ressource marémotrice)**

L'énergie marémotrice consiste à exploiter l'énergie issue des marées dans des zones littorales de fort marnage (différence de hauteur d'eau entre la marée haute et la marée basse se succédant). Le phénomène de marée est induit par l'effet gravitationnel sur l'océan de deux astres à proximité de notre planète : la Lune et le Soleil. Le potentiel de l'énergie marémotrice dans le monde est estimé à près de 380 TWh/an, soit 1,5% à 2% de la production électrique mondiale annuelle.

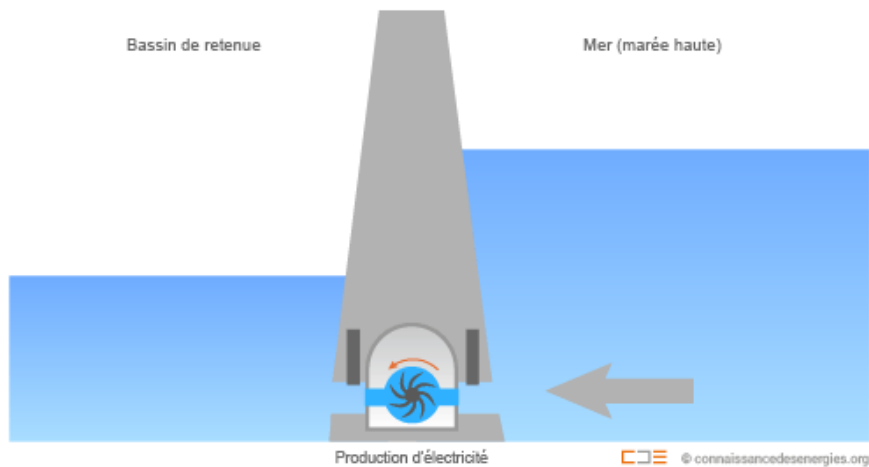


Figure 12. Production de l'électricité dans les marées

o