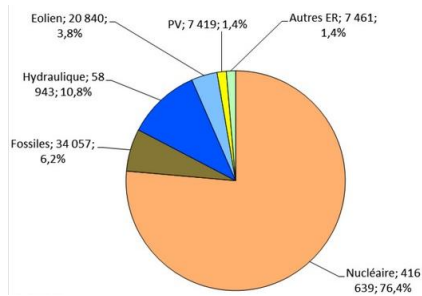


## Chapitre I :

### **Techniques générales de production de l'électricité (Sources d'énergie électrique, centrales électriques classiques (thermique et nucléaire), Service systèmes, gestion et rendement)**



## I- Introduction :

La **production d'électricité** est essentiellement un **secteur industriel**, destiné à **mettre** à disposition de l'ensemble des **consommateurs** la possibilité d'un **approvisionnement** (réserve) adapté à leurs besoins en **énergie électrique**.

La production d'électricité se fait depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (19 siècle) à partir de **différentes sources d'énergies primaires**. Les premières **centrales électriques** fonctionnaient au **bois**. Aujourd'hui, la production peut se faire à partir d'**énergie fossile** (*charbon, gaz naturel ou pétrole*), d'**énergie nucléaire**, d'**énergie hydroélectrique**, d'**énergie solaire**, d'**énergie éolienne** et de **biomasse**.

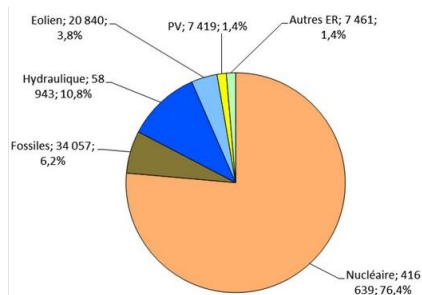


- Un turbogénérateur dans une centrale thermique.



- Une turbine hydraulique avec sa génératrice.

**Figure I-1. Production de l'électricité.**



## II- Moyens de production

Les **moyens de production** sont *diversifiés*, et dépendent de **nombreux facteurs** :

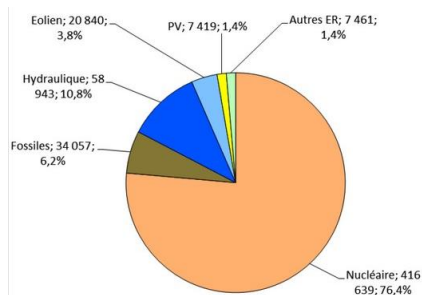
- les **techniques** (méthodes, *La technique : couvre l'ensemble des procédés de fabrication, de maintenance et de gestion*) **disponibles** ;
- la **réactivité** de mise en œuvre (La **réactivité** est la **capacité** d'une organisation à répondre rapidement aux sollicitations de son environnement par la mise en œuvre de synergies ou la flexibilité des ressources) ;
- la **production** nécessaire ;
- le **rendement** possible ;
- les **coûts d'investissement**, d'*exploitation* et de *déconstruction* ;
- le **coût** des éventuelles **matières premières** ;
- la **disponibilité** locale de ces *matières premières* ou les **moyens d'acheminement** ;
- les **impacts écologiques** occasionnés ; ... etc.

## III- Techniques de production d'électricité

On regroupe :

### III-1. Les techniques largement utilisées

- **Énergie hydroélectrique** : Barrage ou centrale ;
- **Énergie nucléaire** : Centrale nucléaire ;
- **Énergie thermique** : Centrale au *charbon*, au *fioul* ou au *gaz* ;
- **Énergie éolienne** : Éolienne.



### III-2. Les techniques nouvelles

- **rayonnement solaire** : Panneau, *Centrale solaire photovoltaïque* ou *thermodynamique* ;
- **Géothermie** : Centrale géothermique ;
- **Biomasse** ;
- **Force de la gravité** : *Centrale au fil de l'eau*.

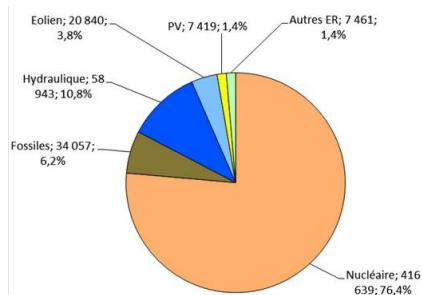
### III-3. Les techniques en développement

- **Four solaire** (Énergie solaire) ;
- **Usine marémotrice** (Énergie marémotrice) ;
- **Centrale nucléaire** (Fission nucléaire) ;
- **Hydrolienne** (Force des courants marins) ;
- **Énergie des vagues** ;
- **Tour solaire** ;
- **Gazéification de biomasse** ; ...etc.

### ✓ Les modes de production de l'énergie électrique :

Pour répondre à la **demande en électricité** de consommateurs de différentes natures (*particuliers, industriels, tertiaires, collectivités*) et répartis sur l'ensemble d'un territoire, il faut utiliser **des moyens de production industriels** permettant de **produire de l'électricité en grandes quantités**.

Cette opération est réalisée dans **des centrales électriques** par la mise en **rotation**, grâce à la **force** du **vent**, de l'**eau** ou de la **vapeur d'eau**, d'une **turbine** qui entraîne un **alternateur**. Il existe différents *types* de **centrales** suivant l'énergie utilisée :



### 1) Centrale Nucléaire

L'électricité est produite à partir d'une **source d'énergie fissile** : l'**uranium**, un minéral contenu dans le sous-sol de la Terre.

### 2) Centrale Thermique

L'électricité est produite à partir de **sources d'énergies fossiles**, des éléments contenus dans le sous-sol de la Terre : le **charbon**, le **fioul** (issu du **pétrole**) et le **gaz**.

### 3) Centrales à énergies Renouvelables

L'électricité est produite à partir de **sources d'énergies renouvelables**, que la nature renouvelle en permanence : l'**eau**, le **vent**, le **soleil**, la **chaleur du sous-sol**, la **matière organique** (**bois**, **déchets**, ...), les **énergies marines**.

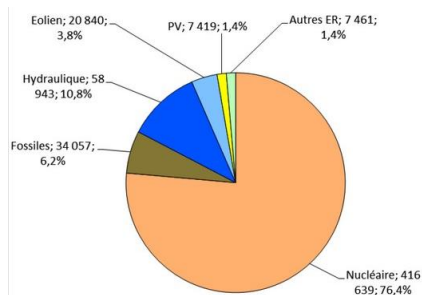
La **France**, par exemple, possède **très peu** de **ressources** d'origine **fossiles** (comme le gaz et le charbon) et est donc **dépendante** des **importations** pour la **production d'électricité** à partir de ces énergies. C'est grâce à la **production d'électricité d'origine nucléaire** (environ **77%** de la **production nationale**) que la **France** peut *assurer* son **indépendance énergétique**.

## IV- La production

La **production d'énergie électrique** est obtenue par **conversion** de l'énergie :

### IV-1. Énergie mécanique

- Les **centrales hydraulique**, les **centrales hydroélectrique**, les **usines marémotrice**, les **hydroliennes**, les **centrales osmotiques** utilisent l'énergie de l'eau qui est transformée en **énergie mécanique** via une **turbine hydraulique**, qui entraîne un **générateur électrique** ;
- Les **centrales nucléaires**, les **centrales thermiques** (au charbon, au fioul, au gaz, biomasse, gazéification, etc.), les **centrales solaires thermodynamiques**, **centrales géothermiques**, les **tours solaires** utilisent l'énergie de la **pression**



d'un **fluide** (souvent de la **vapeur d'eau**), qui est transformée en **énergie mécanique** via une **turbine**, qui entraîne un **générateur électrique**.

- Les **centrales houlomotrices** utilisent l'**énergie mécanique** des **vagues** qui est convertie en **énergie de fluide** via des **béliers hydrauliques**, puis qui est transformée en **énergie mécanique** via une **turbine**, qui entraîne un **générateur électrique** ;
- Les **fermes éoliennes** utilisent l'**énergie** du **vent** qui est transformée en **énergie mécanique** via un **rotor** composé de **plusieurs pales**, qui entraîne un **générateur électrique** ; le couple étant appelé un **aérogénérateur** ;
- Les **groupes électrogènes** (unités d'appoint ou de secours) utilisent l'**énergie mécanique** d'un **moteur à explosion**, qui entraîne un **générateur électrique**.

Toutes les centrales ci-dessus fonctionnent par **conversion finale de l'énergie mécanique en énergie électrique** par l'intermédiaire d'une **génératrice** comme une **machine synchrone (alternateur)** qui produit du **courant alternatif** ou une **dynamo** qui produit du **courant continu**.

#### Remarque :

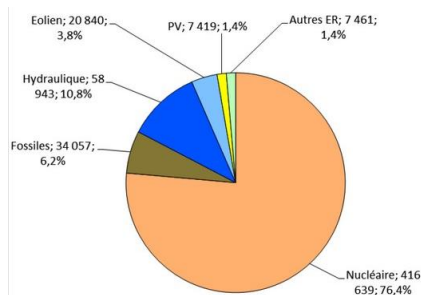
L'**énergie osmotique** est l'énergie qu'il serait possible d'obtenir au voisinage des **estuaires** (où l'**eau douce fluviale** se **mélange** à l'**eau salée de la mer**), en exploitant le **phénomène** d'**osmose** qui se produit en continu au niveau d'une **membrane** appropriée séparant des **masses d'eau de salinité différente**.

### IV-2. Énergie photovoltaïque

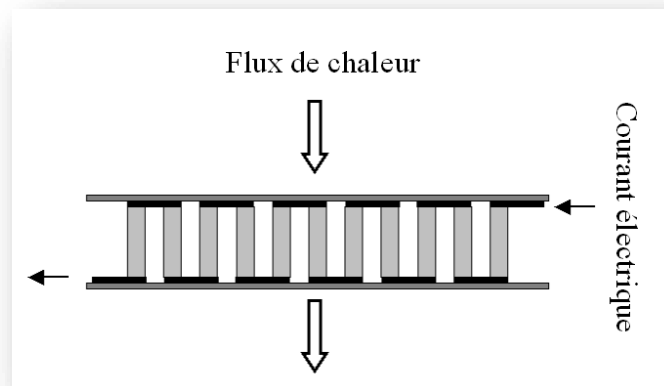
Les **centrales solaires photovoltaïques** utilisent l'énergie de la **lumière** qui est convertie via un **capteur solaire photovoltaïque** qui produit du **courant continu**.

### IV-3. Énergie thermoélectrique

Les **centrales thermoélectriques** utilisent l'**énergie thermique** qui est convertie via des **modules thermoélectriques** qui produisent du **courant continu**.



(Un **matériau thermoélectrique** transforme directement la **chaleur** en **électricité**, ou déplace des calories par l'application d'un courant électrique).



**Figure I-2. Module pour la conversion de l'énergie par effet thermoélectrique connecté en série électriquement et en parallèle thermiquement.**

### **Remarque :**

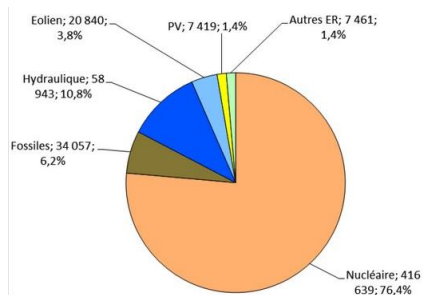
Une **thermopile** est un dispositif électronique qui convertit l'**énergie thermique** en **énergie électrique**. Elle est composée de **thermocouples** (des **couples de matériaux**) connectés en parallèle ou en série.

Les thermopiles **gènèrent** une **tension de sortie** proportionnelle à une **différence** ou un **gradient de température**.

### **✓ Types de production d'électricité :**

#### **1) Selon l'énergie primaire**

On distingue parmi les **énergies primaires** converties en **énergie électrique** dans les **centrales électriques**, celles qui sont improprement dites « **renouvelables** » et celles d'origine **fossile** ou **nucléaire**.

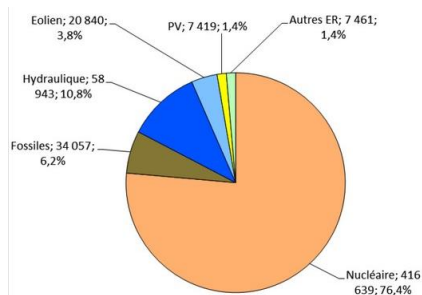


- Les **combustibles fossiles** : ce sont encore aujourd'hui les énergies primaires **les plus utilisées** dans le monde pour la **génération d'électricité**. C'est principalement le **charbon** qui est utilisé, mais on trouve également des centrales au **fioul** et surtout au **gaz naturel**, qui sont **brûlés** soit dans des **chaudières**, soit dans des **turbines à combustion** (turbines à gaz) ou encore dans des **moteurs Diesel** entraînant un **alternateur** ;
- Les **autres combustibles** : on peut également, pour la **production d'électricité**, **brûler** dans des *chaudières spécifiques* de la **biomasse** ou des **déchets** ;
- L'**énergie nucléaire** : la **chaleur** permettant la **génération** de **vapeur d'eau** est produite par la **fission d'uranium** ;
- L'**énergie solaire** : elle est utilisée soit dans des **chaudières solaires** produisant de la **vapeur d'eau** destinée à être **turbinée**, soit dans des **centrales** constituées d'une **multitude de panneaux photovoltaïques** ;
- L'**énergie hydraulique** : dans les *centrales hydrauliques*, c'est soit la **force** du **courant des rivières** (*centrales au fil de l'eau*), soit celle de la **chute d'eau** (*barrages, conduites forcées*) qui est utilisée pour actionner la **turbine** entraînant l'**alternateur**. La **force** des **marées** est aussi utilisée (*usines marémotrices*) ;
- L'**énergie éolienne** : la **force** du **vent** permet également d'entraîner un **alternateur** pour produire de l'électricité.

## 2) Selon la technologie

Hormis dans les **centrales photovoltaïques** encore peu répandues, la **génération d'électricité** est assurée par un **alternateur entraîné** par une **turbine** ou exceptionnellement par un **moteur à explosion** (moteur Diesel, moteur à gaz).

Le **rendement** de **conversion mécanique/électrique** est d'environ **98 %**. L'**essentiel** des **pertes** se fait donc sur la **conversion thermique-mécanique**, la **cogénération** permettant d'*améliorer* le **rendement global** de l'installation.



Plusieurs **technologies** de **turbines** sont disponibles *selon* le **fluide** utilisé pour les **actionner** :

- **turbine à vapeur** ;
- **turbine à combustion** (communément, mais *improprement* appelée **turbine à gaz**) ;
- **turbine hydraulique** ;
- Une **éolienne** est aussi une **sorte de turbine**.

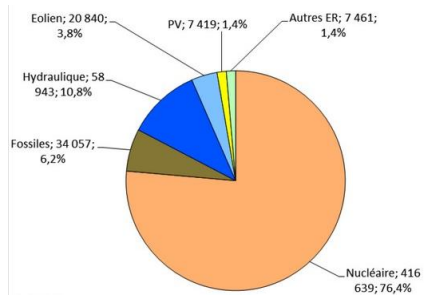
## V- Les centrales électriques classiques (thermique et nucléaire)

### V-1. Centrale électrique : Définition générale

Une **centrale électrique** est un **site industriel** destiné à la **production d'électricité**. Les **centrales électriques** *alimentent* en électricité, au **moyen** du **réseau électrique**, les **consommateurs**, *particuliers* ou *industriels* éloignés de la centrale. La **production** d'électricité y est assurée par la **conversion** en **énergie électrique** d'une **énergie primaire** qui peut être soit **mécanique** (force du **vent**, force de l'**eau** des rivières, des marées...), soit **chimique** (réactions d'**oxydoréduction** avec des **combustibles**, **fossiles** ou non tels que la **biomasse**), soit **nucléaire**, soit **solaire**...

Ces énergies primaires peuvent être **renouvelables** (**biomasse**) ou **quasiment inépuisables** (**énergie solaire**) ou *au contraire* peuvent constituer des ressources dont la **disponibilité** est **limitée** dans le **temps** (**combustibles fossiles**).

**Exemples :**

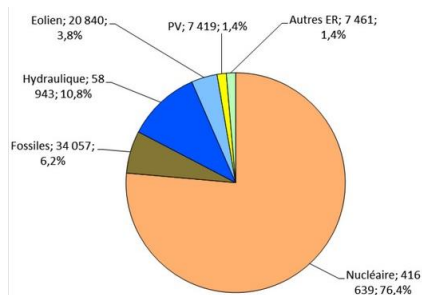


- *Centrale thermique de Richemont fonctionnant au gaz de haut fourneau.*



- *Centrale thermique de Porcheville fonctionnant au fioul lourd.*

**Figure I-3. Centrales électriques.**



## V-2. Types des centrales thermiques

Les centrales thermiques englobent :

- les **centrales nucléaires** ;
- les **centrales géothermiques** ;
- les **centrales à flamme** qui elles-mêmes comprennent :
  1. les **centrales conventionnelles** dans lesquelles un **combustible fossile** (**charbon, fioul, gaz naturel...**) ou autre (**biomasse**) est **brûlé** dans une **chaudière** pour produire la **vapeur surchauffée** alimentant la **turbine** ;
  2. les **centrales à turbine à combustion, à simple cycle**, brûlant généralement du **gaz**, parfois du **fioul** (**léger ou lourd réchauffé**) ;
  3. les **centrales à cycle combiné**, brûlant les **mêmes combustibles** que dans un **simple cycle**, mais avec un **bien meilleur rendement** grâce à l'**adjonction** d'une **chaudière de récupération** et d'une **turbine à vapeur** ;
  4. les **centrales à moteur Diesel** ou **moteur à gaz**.

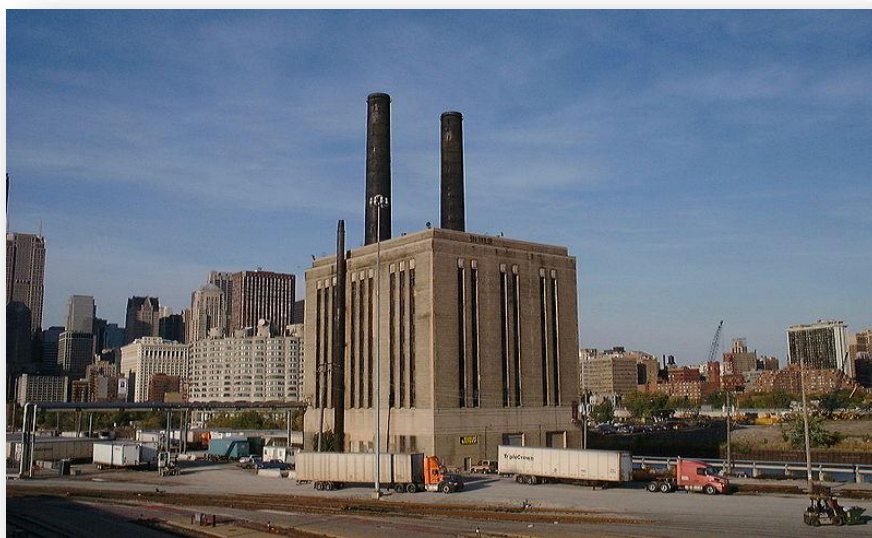
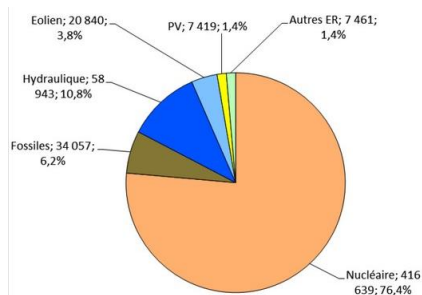


Figure I-4. Centrale thermique à flamme de Chicago (USA).



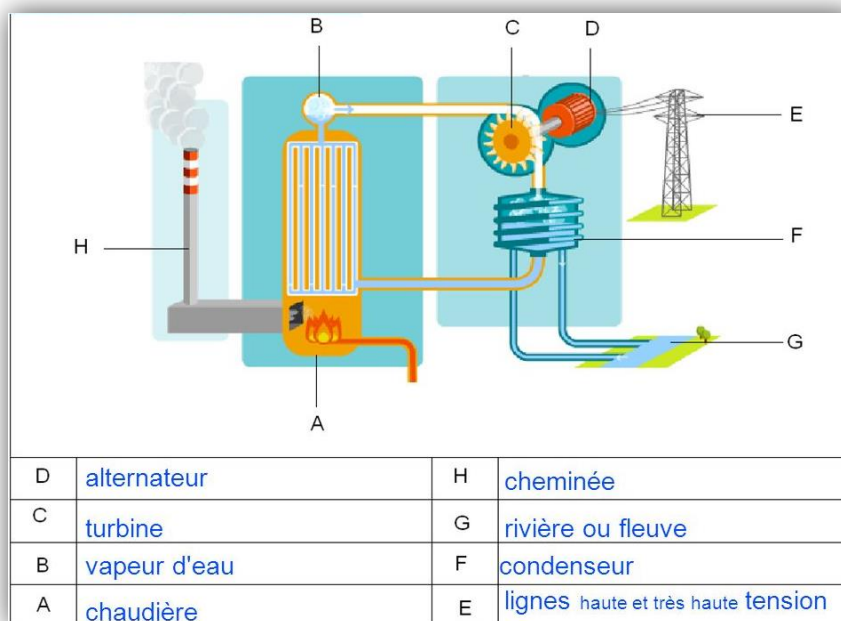
### V-3. Les centrales utilisant un cycle vapeur

Hormis les **centrales à turbines à combustion (à gaz)** et celles à **moteurs à explosion**, les **centrales thermiques** utilisent un **cycle vapeur**.

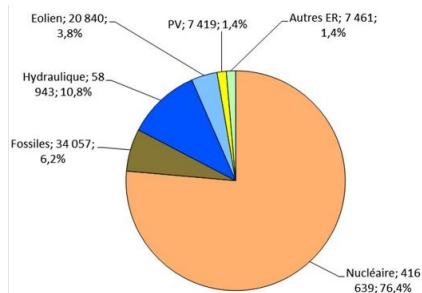
#### 1) Le principe du cycle vapeur

Dans un **générateur de vapeur** (aussi appelé **chaudière**), de l'**eau sous pression** est **vaporisée** et **surchauffée**. Elle est ensuite **admise** dans une **turbine à vapeur** où elle est **détendue**. Lors de cette **détente** l'**énergie** contenue dans la **vapeur** est **convertie** en **énergie mécanique** et **entraîne** en **rotation** le **rotor** de la **turbine couplé** à l'**alternateur**. La **vapeur détendue** est ensuite **admise** dans un **condenseur** où l'**eau** se retrouve en **phase liquide**. Cette **eau** est alors **ramenée** en **chaudière** grâce à des **pompes alimentaires** et **repart** pour un **nouveau cycle**.

Dans la **pratique** et pour **améliorer** le **rendement**, la **turbine à vapeur** est **constituée** de 2 (voire 3) **corps** : à la **sortie** du **premier corps** (dit **HP**, pour **haute pression**) la **vapeur** est **retournée** à la **chaudière** où elle est **resurchauffée** avant d'**alimenter** le **second corps** (**MP** : **moyenne pression**).



**Figure I-5. Le principe du cycle vapeur dans une centrale thermique classique à vapeur.**



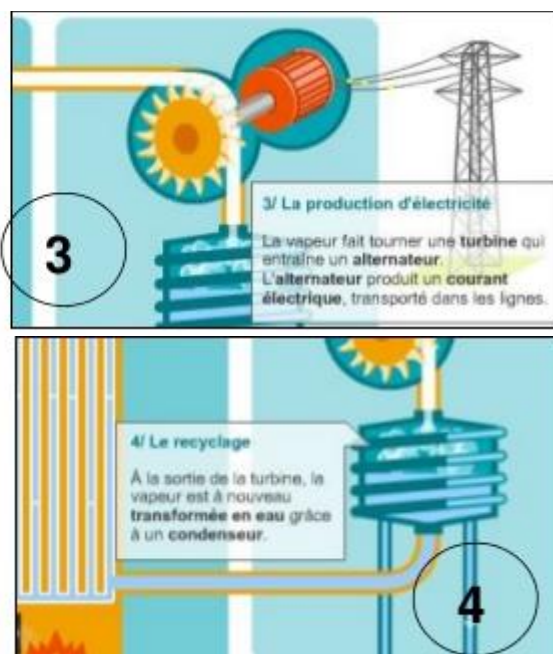
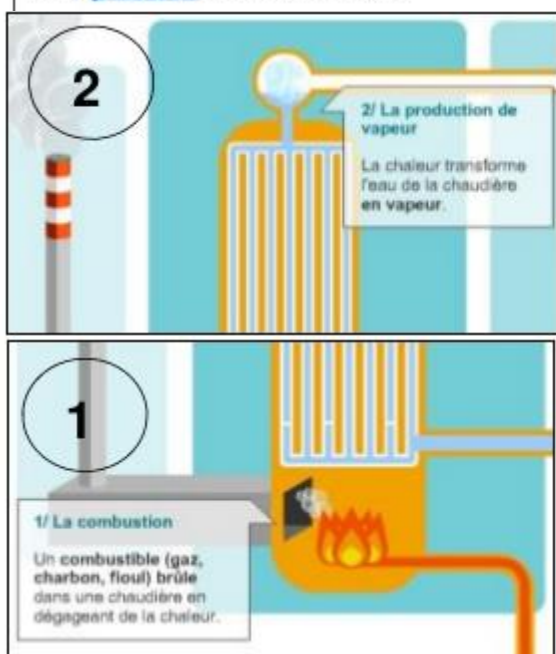
## 1/ La combustion

Un **combustible (gaz, charbon, fioul)** est **brûlé** dans les brûleurs d'une chaudière pouvant mesurer jusqu'à 90 m de hauteur.

Le charbon est d'abord réduit en poudre, le fioul est chauffé pour le rendre liquide puis vaporisé en fines gouttelettes et le gaz est injecté directement sans traitement préparatoire.

## 2/ La production de vapeur

La chaudière est tapissée de tubes dans lesquels circule de l'eau froide. En brûlant, le combustible dégage de la **chaleur qui va chauffer cette eau**. L'eau se transforme en **vapeur**, envoyée sous **pression** vers les turbines.



## 3/ La production d'électricité

La vapeur fait tourner une turbine qui entraîne à son tour un **alternateur**. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'**alternateur** produit un **courant électrique alternatif**.

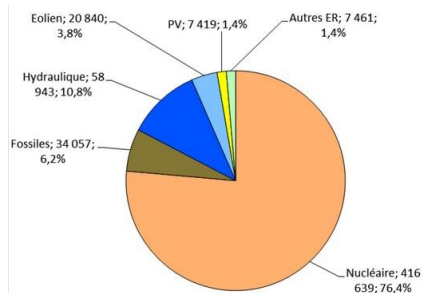
Un **transformateur** élève la **tension** du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement **transporté** dans les lignes à très haute et haute tension.

## 4/ Le recyclage

À la sortie de la turbine, la vapeur est à nouveau **transformée en eau** grâce à un **condenseur** dans lequel circule de l'eau froide en provenance de la mer ou d'un fleuve. L'eau ainsi obtenue est récupérée et **re-circule dans la chaudière** pour recommencer un autre cycle.

L'eau utilisée pour le refroidissement est restituée à son milieu naturel ou renvoyée dans le condenseur.

Les fumées de combustion sont dépoussiérées grâce à des filtres et sont évacuées par des **cheminées**.



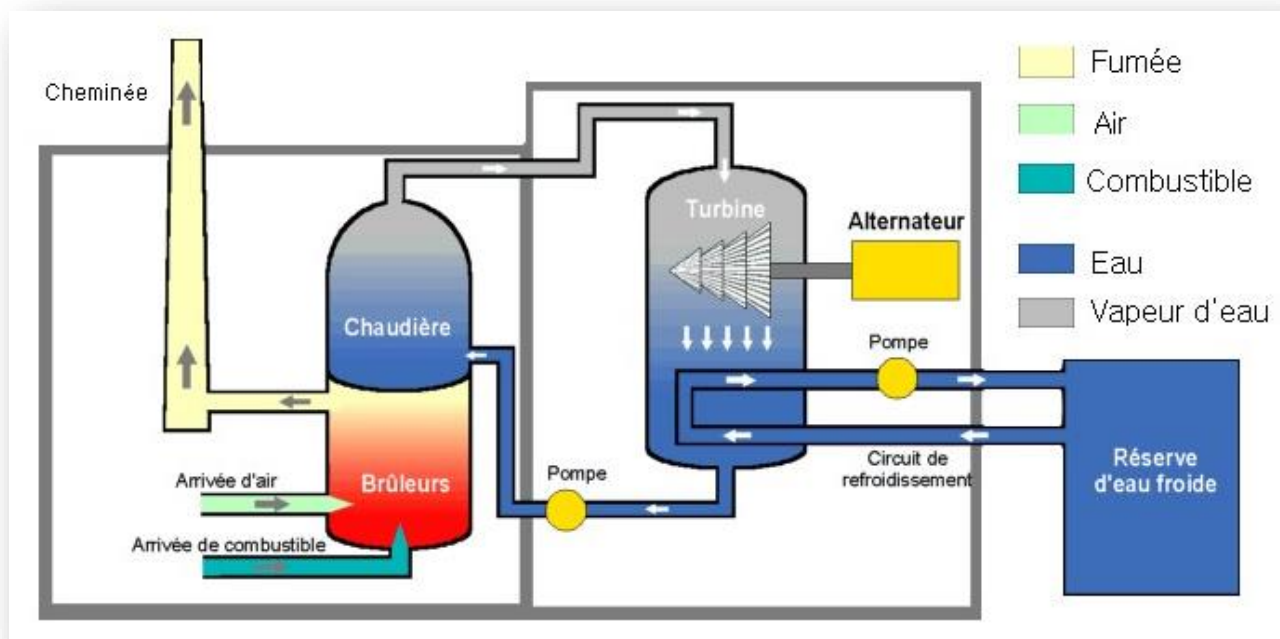
## 2) Centrale conventionnelle (à vapeur)

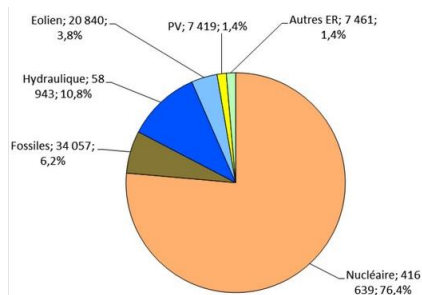
Les **centrales** les **plus répandues** sont constituées d'une **chaudière** et d'une **turbine à vapeur**. Leur **carburant** est le plus **souvent** du **charbon** mais on trouve aussi des **chaudières** utilisant de la **biomasse**, du **gaz naturel**, du **pétrole**, du **fioul**.

La **plupart** des **centrales à charbon** sont de **type** à « **charbon pulvérisé** », où le charbon est **réduit** en **poudre très fine** dans des **broyeurs** et **injecté** dans le **foyer** de la **chaudière**. Les **centrales** les **plus récentes** possèdent un **cycle vapeur supercritique**, qui permet d'avoir un **rendement** qui **dépasse 45 %**.

Energie chimique → énergie thermique → énergie mécanique → énergie électrique

*Dans une chaudière, l'énergie chimique des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz), est convertie en chaleur. Celle-ci est utilisée pour chauffer de l'eau qui se transforme en vapeur. Celle-ci, maintenue sous pression, met en mouvement la turbine qui entraîne l'alternateur.*





**Figure I-6. Schéma de fonctionnement d'une centrale conventionnelle thermique à flamme (à cycle de vapeur).**

Les *centrales thermiques* se *ressemblent* beaucoup et la plupart fonctionnent à une **température** de **550 degrés C°** et à une **pression** de **16,5 MPa** (MégaPascal). Leur **rendement global** est de **40 %**.

De **meilleures performances** peuvent encore être **atteintes** à des *niveaux* de **température** et de **pression plus élevés**.

Les **efforts actuels** visent à **réduire** l'**impact environnemental** des installations (*réduction des émissions polluantes, captage du CO2, etc.*). Le *fonctionnement* en **cogénération** est possible, **accroissant** ainsi l'*efficacité énergétique globale* (rendement).

### **Remarque :**

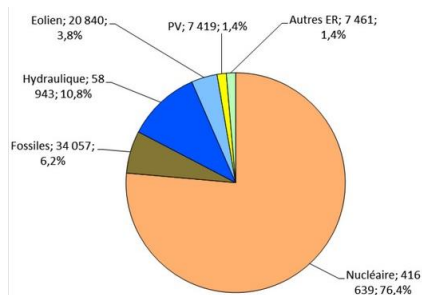
Certaines **centrales à charbon récentes** comprennent des *chaudières à lit fluidisé circulant*, LFC, (*En physique le concept de **lit fluidisé** (ou de **lit fluidifié**) permet de donner à une **catégorie** de **solides** — dits **matériaux granulaires** — certaines propriétés des **fluides, liquides** ou **gaz**. Son invention est attribuée au chimiste allemand Fritz Winkler, qui l'avait appliqué en 1926 à la **combustion de charbon réduit en poudre**).*

Le **principe** de la *chaudière à lit fluidisé* circulant est de faire **brûler** du **minerai de charbon finement concassé** auquel on *ajoute* des **granulats de calcaire** ou du **sable** en *suspension* dans l'air, à une **température** de **800 à 900 degrés**. Le "lit" circule en *boucle* jusqu'à **complète combustion du charbon**. La **présence** de **calcaire** permet la **désulfuration des fumées**. On distingue : les *chaudières à lit fluidisé atmosphérique* et les *chaudières à lit fluidisé sous pression*.

### **✓ Avantages et inconvénients :**

#### **1. Les avantages :**

- **Technologie** bien *maitrisée* présentant *peu* de **risques** ;
- **Autonomie** (dépendant de l'approvisionnement et du stock de combustible) ;



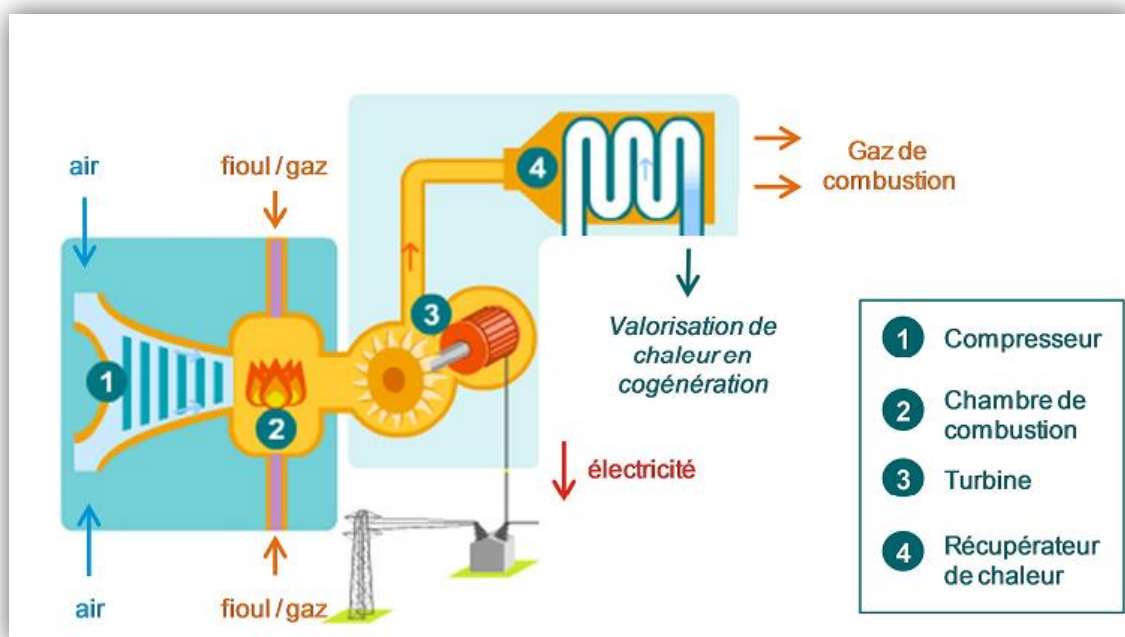
- **Longue durée de vie (30 à 40 ans).**

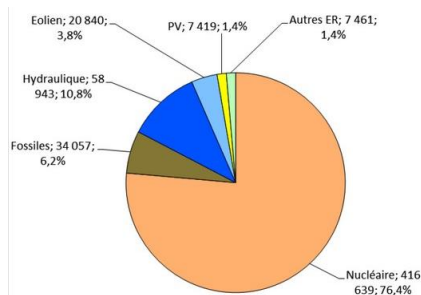
## 2. Les inconvénients :

- **Usage de combustibles fossiles** (*raréfaction* et *coût* de la ressource, *dépendance énergétique*) ;
- **Emissions de gaz à effet de serre** et d'**éléments polluants**, en particulier sur **charbon** et **fioul** (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, poussières) ;
- **Faible rendement.**

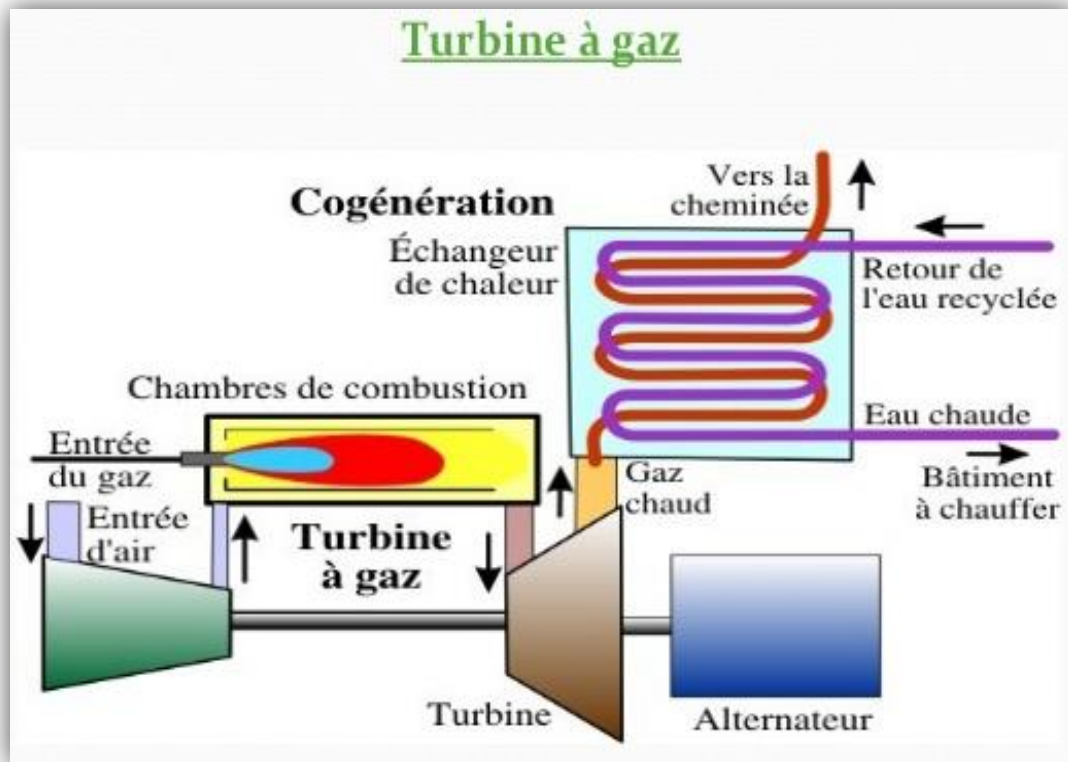
### V-4. Les centrales à turbine à combustion (CTAC)

Dans une **turbine à combustion (TAC)**, l'électricité est **générée** grâce à la **circulation** de **gaz d'échappement** issus d'une **chambre de combustion** et **traversant** directement la **turbine**. La **chambre de combustion** est le plus **souvent** interne à la **turbine**, elle **génère** de la **chaleur** à partir d'un **combustible** (gaz ou fioul) et d'**air initialement comprimé**.





**Figure I-7. Principe de fonctionnement d'une centrale à turbine à combustion à simple cycle.**

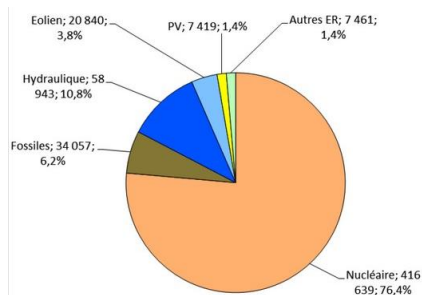


**Figure I-8. Turbine à combustion (à gaz).**

Alors que le **fioul** apporte une **sécurité** de **fourniture**, le **développement** des **TAC gaz** est aujourd'hui **privilégié**, notamment pour des **raisons environnementales** (**émissions** de **gaz à effet de serre** et d'**éléments polluants moindres**).

Sur le **réseau électrique**, la **réactivité** des **TAC** est souvent **mise à profit** pour **fournir** la **pointe électrique**. Les **TAC** sont également **répandues** pour la **production décentralisée** dans l'**industrie** ou le **tertiaire**, notamment pour un **fonctionnement** en **cogénération**.

L'intérêt de la **cogénération** sur les **TAC** réside dans la **haute température** des **fumées** de **combustion**, dont la **chaleur** peut être **récupérée** et **valorisée** sans **affecter** la **production électrique**.



### a) Les turbines à cycle simple

Les **turbines à gaz en cycle simple** sont **peu coûteuses à construire**, de plus elles ont l'**avantage** de **démarrer très rapidement** (*contrairement* aux **centrales conventionnelles** à vapeur qui ont une **certaine inertie**). Néanmoins, leur **rendement faible** (35 % au mieux) **empêche** de les **utiliser** directement pour la **production d'électricité sans valoriser leur chaleur résiduelle**, sauf en **appoint** lors des **pics de demande** ou à toute **petite échelle**, ou encore dans les **pays producteurs de pétrole**.

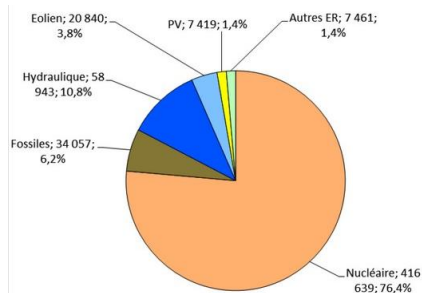
### b) Les turbines à cycle combiné

Le **cycle combiné** consiste à **récupérer l'énergie thermique des gaz, très chauds** (dépassant désormais **600 °C**) à l'**échappement** de la **turbine à combustion**, pour **produire**, dans une **chaudière de récupération**, de la **vapeur d'eau utilisée** pour **alimenter un groupe turbo-alternateur à vapeur**.

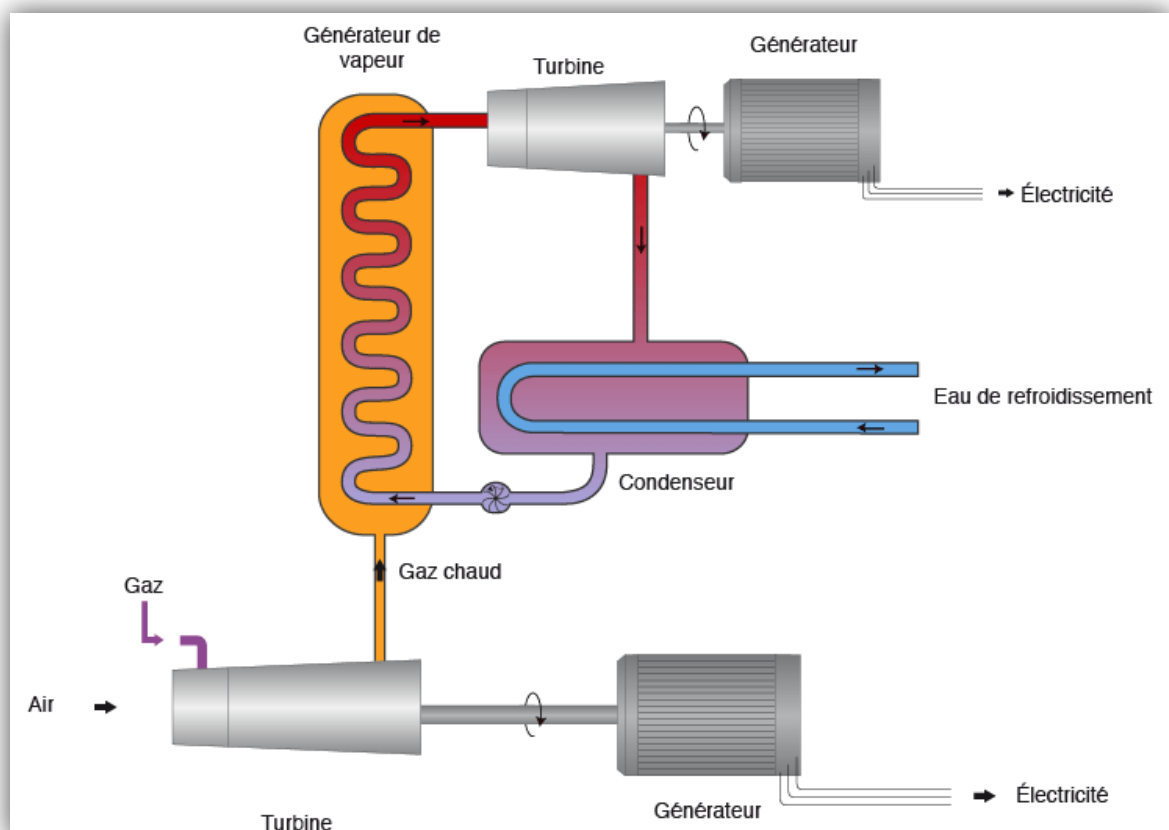
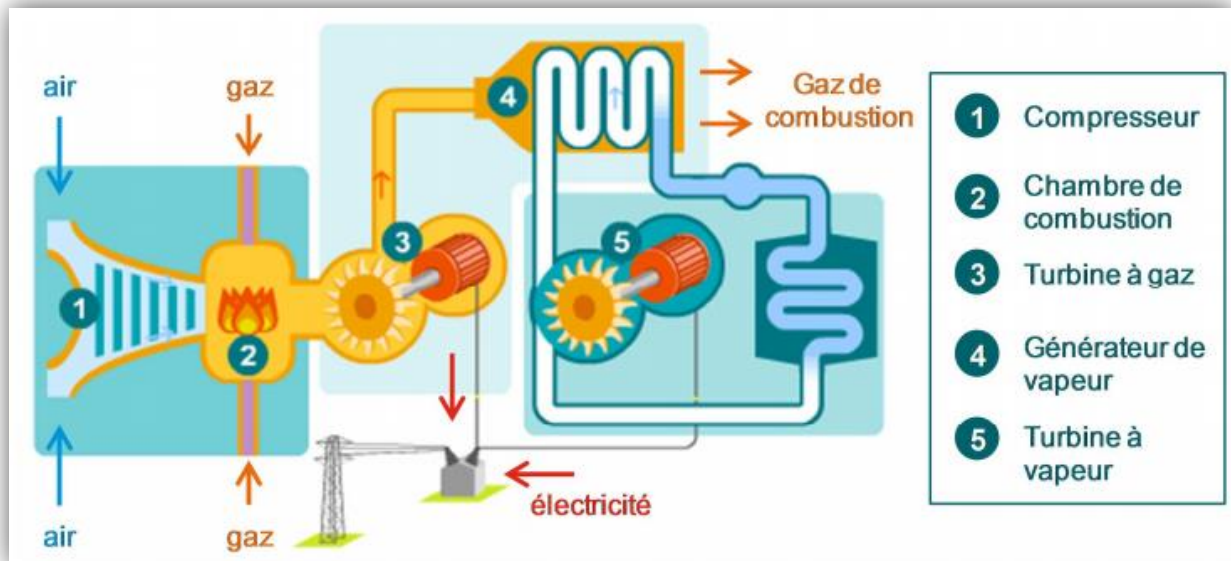
C'est-à-dire un **cycle combiné** consiste à **produire** de l'**électricité** sur **2 cycles successifs**. Le **premier cycle** est **semblable** à celui d'une **TAC** : le **gaz brûlé** en présence d'air comprimé actionne la rotation de la turbine reliée à l'alternateur. Dans le **second cycle**, la **chaleur récupérée** en **sortie** de la **TAC** alimente un **circuit vapeur** qui **produit** également de l'**électricité** avec une turbine dédiée.

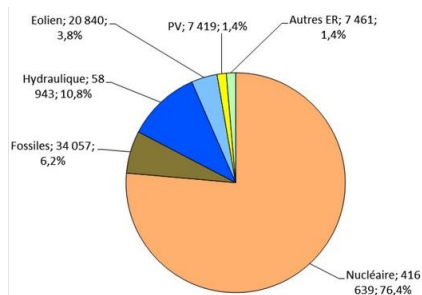
Cette **solution** permet une **augmentation notable** du **rendement énergétique global** de la **centrale**. Généralement, ce **type** de **centrale** comprend **deux alternateurs**, l'un **entraîné** par la **turbine à combustion**, l'autre par la **turbine à vapeur**, *cependant, certaines centrales* n'utilisent qu'un **seul alternateur**, les **deux turbines** étant **montées sur le même arbre**.

La **puissance** de la **turbine à vapeur** étant environ **50 %** de la **puissance** de la **turbine à combustion**, des **constructeurs de centrale** ont **installé** sur **certains sites** **deux turbines à combustion entraînant chacune un alternateur**, et une **turbine à**



vapeur *alimentée* par les **deux chaudières** et entraînant un **troisième alternateur** *identique* aux deux autres.





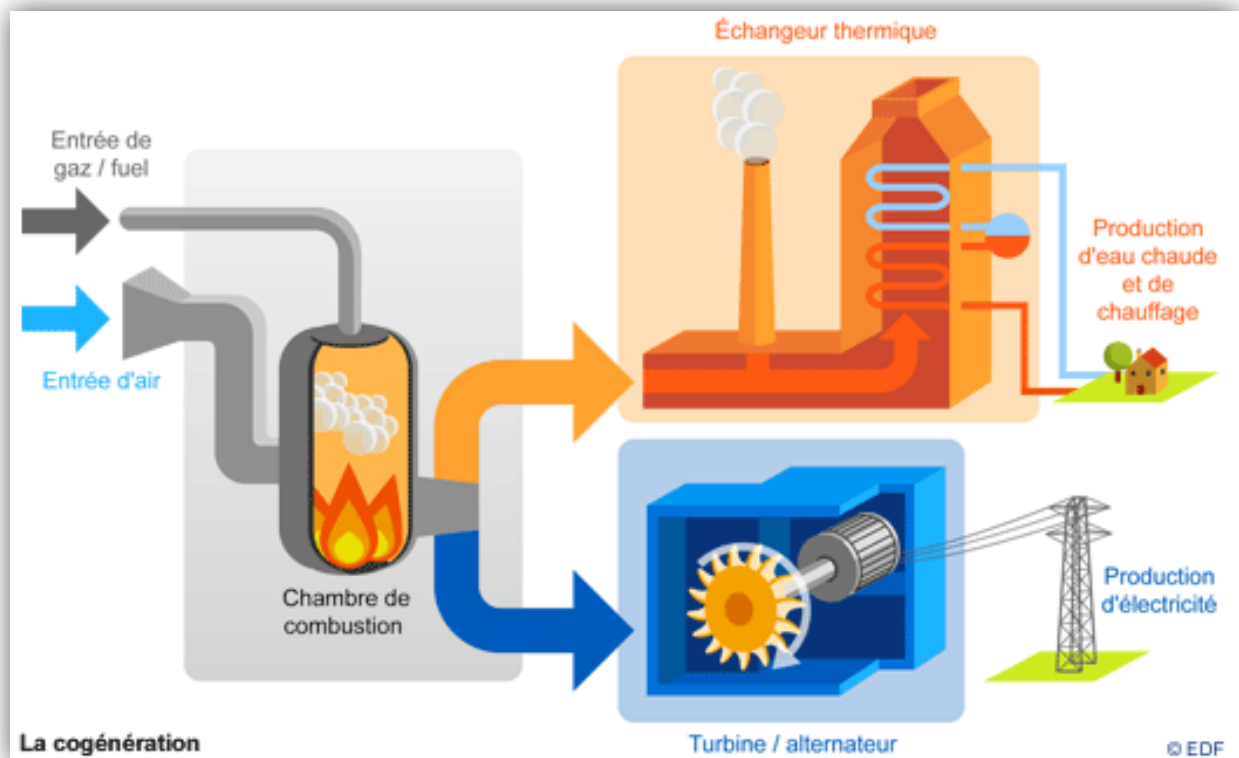
**Figure I-9. Principe de fonctionnement d'une centrale à turbine à combustion à cycle combiné (CCG).**

**Remarque :**

Les **centrales à Cycle Combiné Gaz (CCG)** présentent l'*avantage* d'atteindre des **rendements élevés**, par rapport aux **TAC en cycle simple**, et de fournir une **alternative** aux *centrales thermiques à flamme* (à vapeur) avec un **moindre impact environnemental**.

**c) Cogénération**

La **cogénération** est la **production simultanée** de **deux formes d'énergie différentes** dans la *même centrale*. Le cas le **plus fréquent** est la *production d'électricité* et de **chaleur utile**, la *chaleur* étant **issue** de la **production électrique**. Plus généralement, un **cogénérateur valorise** une **forme d'énergie** habituellement considérée comme un **déchet** et **inexploitée**.



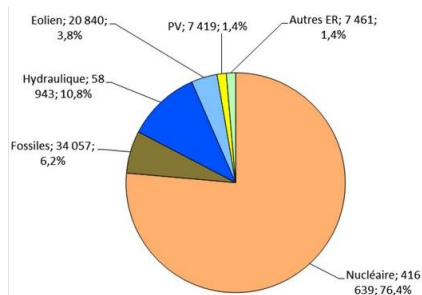


Figure I-10. Principe de la cogénération.

La **cogénération** est une **technique efficace** d'utilisation des **énergies fossiles et renouvelables**, en **valorisant** une **énergie rejetée** généralement dans l'**environnement**, comme la **chaleur**.

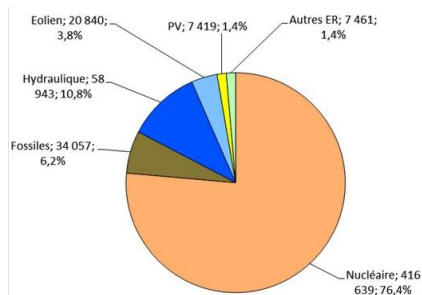
L'**idée de cogénération** repose sur le fait que la **production électrique** dégage une **grande quantité de chaleur à température moyenne**, habituellement **dissipée** dans l'**environnement**. En réponse à une **demande thermique** (chauffage, eau chaude sanitaire, processus industriel (un procédé de nature **mécanique** ou **chimique** destiné à **produire des objets** ou à **synthétiser des produits chimiques**, en **grande quantité**. Ils sont notamment essentiels aux **industries dites lourdes**, par exemple, fabrication d'automobiles), elle propose de **valoriser** la **chaleur** du cycle de **génération électrique** comme **source thermique**.

Une **configuration de cogénération** serait une **turbine à gaz couplée** à un **récupérateur de chaleur** alimenté par les **gaz d'échappement** (productions d'électricité et de **chaleur cogénérées**), voir **figure I-8**.

Alors que dans une **centrale électrique**, c'est le **rendement électrique maximum** qui est **recherché** (**rendement électrique** de l'ordre de **40 %** avec un **cycle simple** et atteignant **58 %** avec un **cycle combiné**), dans la **cogénération**, on **vis** un **rendement global accru** par l'utilisation de l'**énergie thermique** ; la **cogénération d'électricité n'est plus** dans ce cas le **but** mais une **conséquence, améliorant** le bilan économique de l'équipement dont le **rendement global** peut alors **atteindre en moyenne 85-90 %**.

### Remarque :

Dans le cas de **turbine à vapeur** entraînant une génératrice d'électricité, la **cogénération n'augmente pas le rendement électrique**, mais se contente d'envoyer les **gaz chauds** à l'exhaure de la **turbine** vers un **procédé industriel consommateur de chaleur** ou une **chaudière de récupération** produisant de la **vapeur** utilisée dans un **procédé industriel**. Le rendement atteint est un **rendement global** : rendement électrique plus rendement de transfert thermique. **Le but principal est souvent le procédé industriel, la production d'électricité étant soumise au besoin de chaleur**.



## V-5. Les centrales à moteurs à explosion

Certaines *centrales électriques* utilisent des **moteurs Diesel** pour *entraîner* les **alternateurs**. Cas des *centrales* de **Vazzio** (puissance de **132,3 MW (Diesel)**) et **Lucciana** (de **128 MW**, **7 moteurs Diesel** de **18,3 MW** chacun), en l'île de la **Corse (France)**, *zones insulaires non interconnectées* au **réseau électrique** français.

### ✓ Moteur à combustion interne :

Un **moteur à combustion interne** est une **machine thermique** dans laquelle l'énergie thermique *dégagée* par la **combustion** est *transformée* en **énergie mécanique** directement à l'intérieur du moteur.

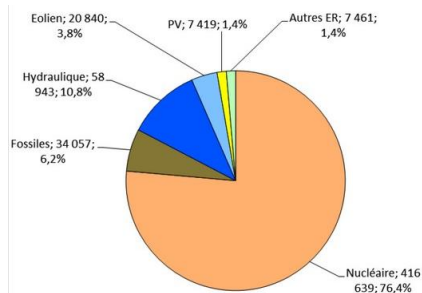
Il existe **deux grands types** de **moteurs à combustion interne** : les **moteurs** fournissant un **couple** sur un **arbre** et les **moteurs à réaction**.

#### 1) Les moteurs fournissant un couple sur un arbre :

- **Moteur à combustion et explosion** :
  - **moteur à gaz** ;
  - **moteur Diesel** ;
  - **moteur à allumage commandé** : moteur à deux temps, moteur à quatre temps, moteur Wankel, etc. ;
- **Machine à pistons rotatifs à battement contrôlé (MPRBC)** ;
- **Turbine à gaz, turbopropulseur, turbomoteur**.

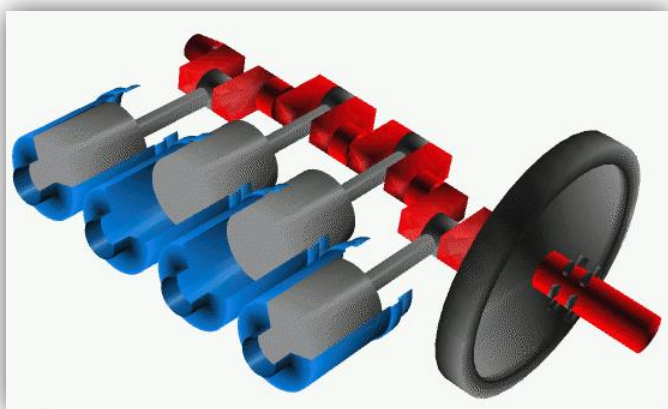
#### 2) Les moteurs à réaction fournissant une poussée : exemple, **moteur-fusée**.

- **Moteur Diesel** : le *moteur Diesel* est un *moteur à combustion interne* dont l'allumage est **spontané** lors de l'**injection du carburant**, par phénomène d'**auto-inflammation** lié aux **températures élevées** dans la **chambre de combustion**. Celles-ci sont atteintes grâce à un **fort taux de compression**, permettant d'obtenir une **température** de **700 à 900 °C**.



le **moteur Diesel** est constitué d'un **vilebrequin** et de **pistons**, qui lui sont **reliés** par des **bielles**, et qui **coulissent** dans des **cylindres percés**. L'ensemble est **recouvert** d'une **culasse**, où des **soupapes**, grâce à un **arbre à cames** lui-même **actionné** par le **vilebrequin**, **ouvrent** et **ferment** alternativement ces espaces, reliés aux **collecteurs d'admission** et d'**échappement**.

Dans les **systèmes modernes à injection directe**, de l'air est **aspiré** dans la **chambre de combustion** (le **volume libéré** par le **piston** dans le **cylindre**), puis, autour du **point mort haut** (le *moment où le piston s'arrête au bout de sa course et est à son point le plus élevé, avant de repartir en sens inverse*), du **gazole** (**gasoil**, ou **carburant diesel**, est un carburant pour moteur Diesel. Physiquement, c'est un **fioul léger** et, réglementairement, un **carburant** issu du **raffinage du pétrole**) est à son tour **injecté**. Le **mélange** ainsi formé est alors **compressé** par la **rotation** du **vilebrequin**, **entre en combustion**, puis est évacué dans l'**échappement**.



- *L'ensemble vilebrequin, pistons, les bielles et les cylindres percés.*

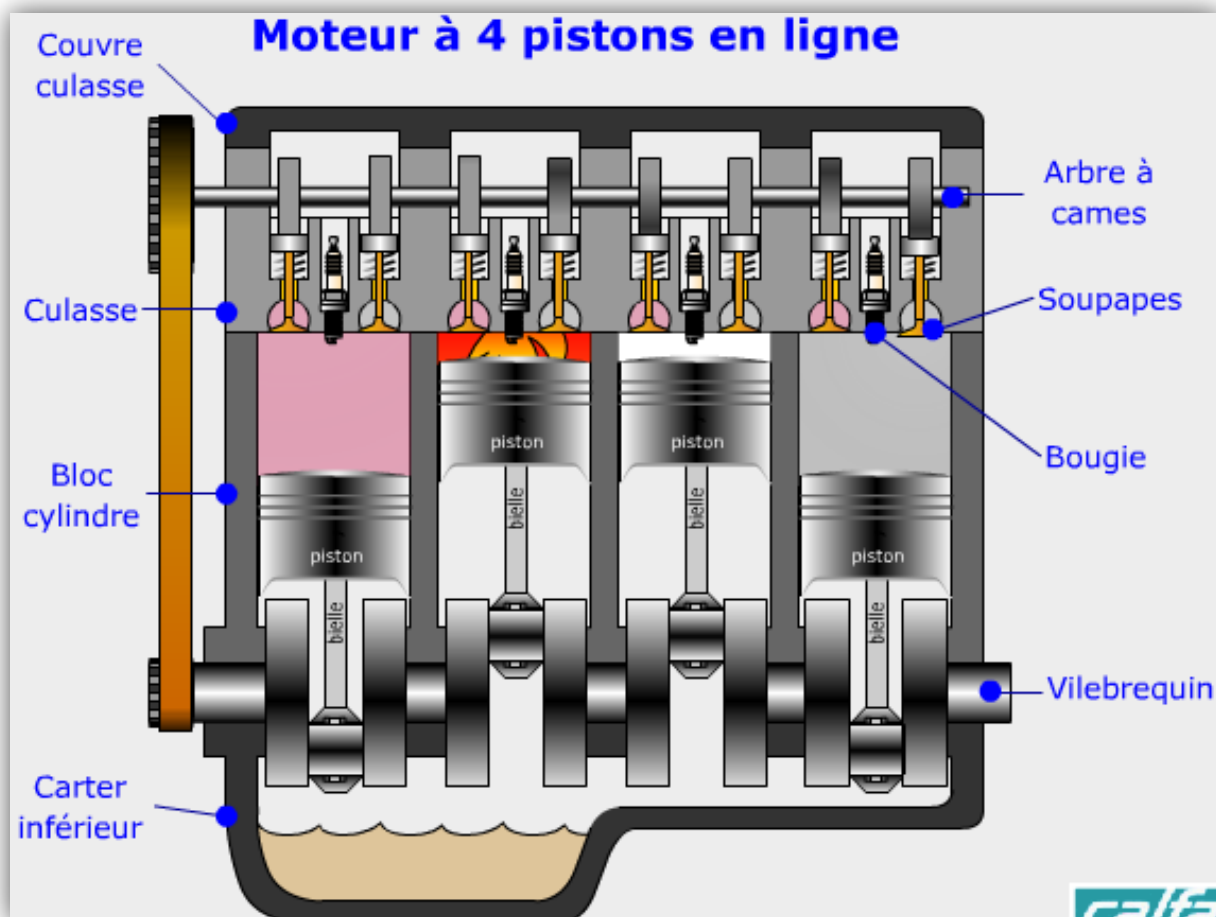
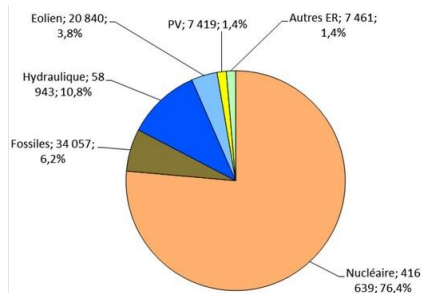


Figure I-11. Principe du moteur Diesel.

- **Moteur à gaz :** Un **moteur à gaz** est un moteur utilisant un **gaz** comme **carburant**. Le principe du **moteur à gaz à explosion** (à cycle de Beau de Rochas) est le suivant : Ce cycle est caractérisé par **quatre temps** ou *mouvements linéaires* du **piston**.

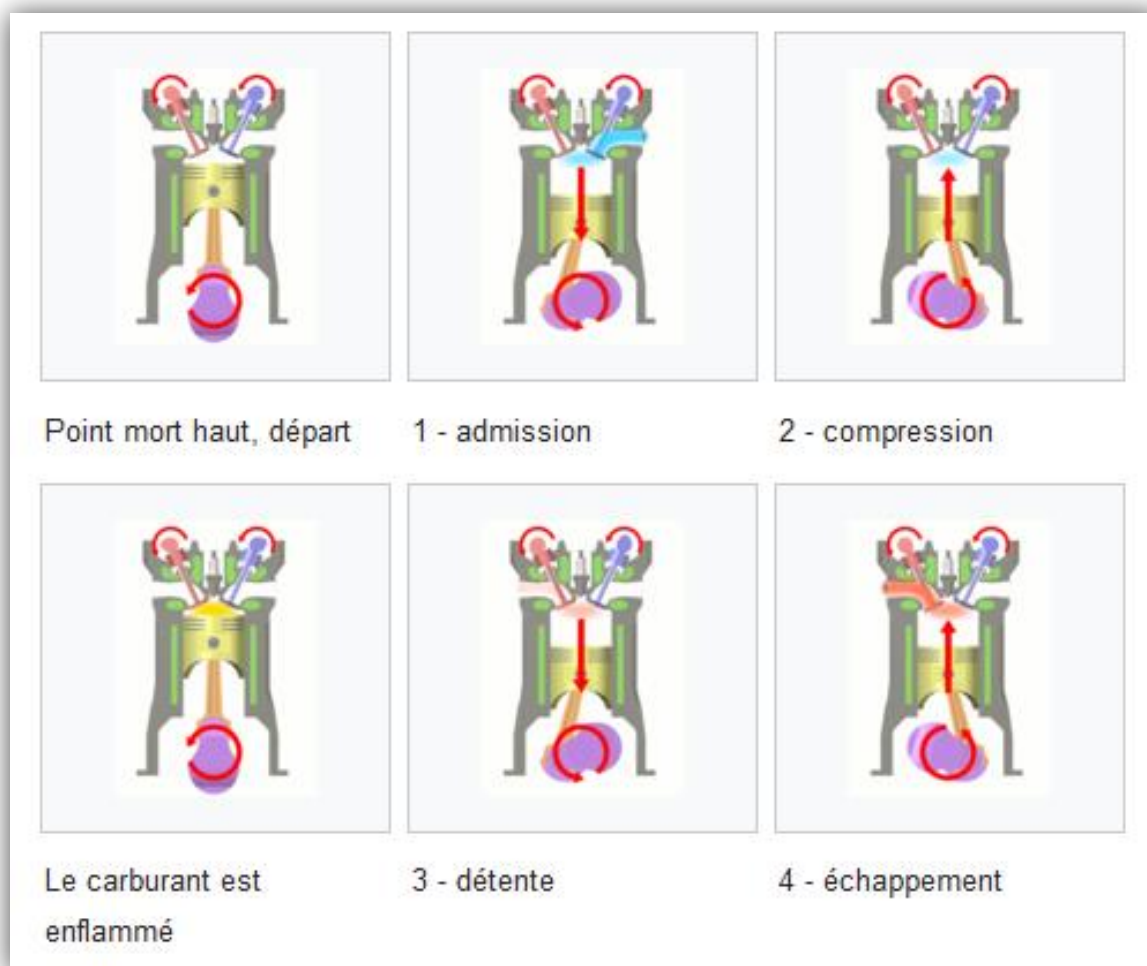
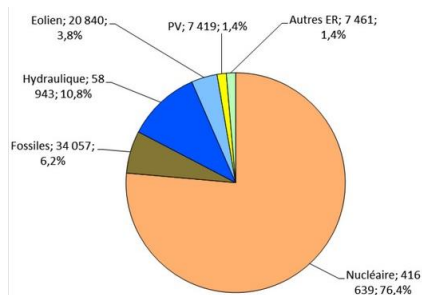
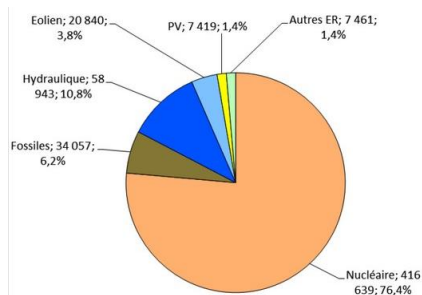


Figure I-12. Principe du moteur à gaz à explosion (à cycle de Beau de Rochas).

- 1. Admission :** Le cycle commence au point mort haut, quand le **piston** est à son *point le plus élevé*. Pendant le premier temps le piston descend (**admission**), un **mélange** d'air et de **carburant** venant du carburateur ou de l'injection est aspiré dans le cylindre via la *soupape d'admission*.
- 2. Compression :** La *soupape d'admission* se referme, le **piston** remonte comprimant le *mélange admis*.
- 3. Combustion-Détente :** Le mélange **air-carburant** est alors **enflammé**, habituellement par une **bougie d'allumage**, un peu avant le *deuxième point mort haut* (remontée complète du piston). La **pression** des **gaz enflammés** portés à **haute température** produit la **combustion complète** du mélange air-



carburant et l'**expansion des gaz**, ce qui **force le piston à descendre** pour le **troisième temps (combustion-détente)**.

4. **Échappement** : Lors du **quatrième** et dernier temps la **soupape d'échappement s'ouvre** pour évacuer les **gaz brûlés** *poussés* par la **remontée du piston**.

Les **moteurs à combustion interne**, largement utilisés pour la **propulsion des véhicules**, peuvent également **produire de l'électricité** lorsqu'ils sont **reliés** à un **alternateur** : on parle alors de **groupes électrogènes**.

A l'**intérieur du moteur**, une **combustion** *actionne* le **mouvement des pistons**, entraînant la **rotation** de l'**arbre** relié à l'**alternateur**.

Les **carburants liquides** (diesel notamment), *facilement stockables*, sont *couramment utilisés* comme **combustibles**. En effet, les groupes électrogènes sont souvent utilisés pour de la **production d'électricité** sur des **sites non interconnectés** ou comme **systèmes de secours** (hôpitaux, industries, etc.). *Connectés* au réseau, ils sont des **systèmes de production** dits "**d'extrême pointe**".

Les **moteurs à gaz** sont aussi *courants*, notamment pour de la **production décentralisée** en **cogénération**. Les *tailles* sont *très variables*, avec une gamme qui s'étend des **petits systèmes domestiques** jusqu'aux **gros moteurs industriels**.

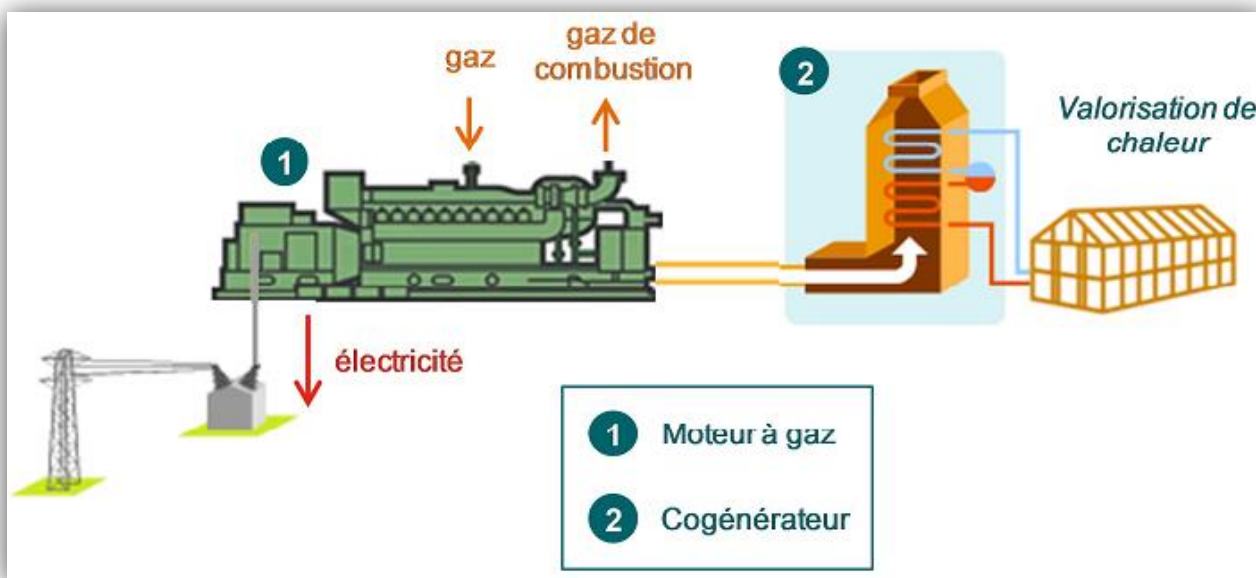


Figure I-13. Centrale avec moteurs à gaz.