

---

## Partie I : Notions de base sur la production d'énergie classique

Energie vient du mot grec **energeia** qui signifie “ force en action ”. L'énergie c'est la capacité d'exercer une force et de produire quelque chose.

L'énergie caractérise la capacité à produire des actions, par exemple à engendrer du mouvement, modifier la température d'un corps ou à transformer la matière. L'énergie provient de différentes sources que l'on trouve dans la nature : le bois, le charbon, le pétrole, le gaz, le vent, le rayonnement solaire, les chutes d'eau, l'uranium.

Elle peut prendre différentes formes : chaleur, énergie musculaire, énergie mécanique, chimique, énergie électrique par exemple. Ses formes multiples peuvent se transformer l'une en l'autre.

- **L'énergie se transforme** : L'énergie peut **se transmettre** d'un système à un autre : C'est à travers de telles transformations ou de tels transferts que l'énergie se manifeste à nous.
- **L'énergie se conserve** : La caractéristique la plus remarquable de l'énergie est qu'**elle se conserve toujours**.

Lorsqu'elle est transférée d'un système à un autre, ou lorsqu'elle change de nature, il n'y a jamais ni création ni destruction d'énergie. Si un objet a perdu de l'énergie, la même quantité d'énergie a obligatoirement été gagnée par un autre objet en communication avec le premier. De même, **lorsque l'énergie change de forme, le bilan est toujours exactement équilibré**.

*« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »*

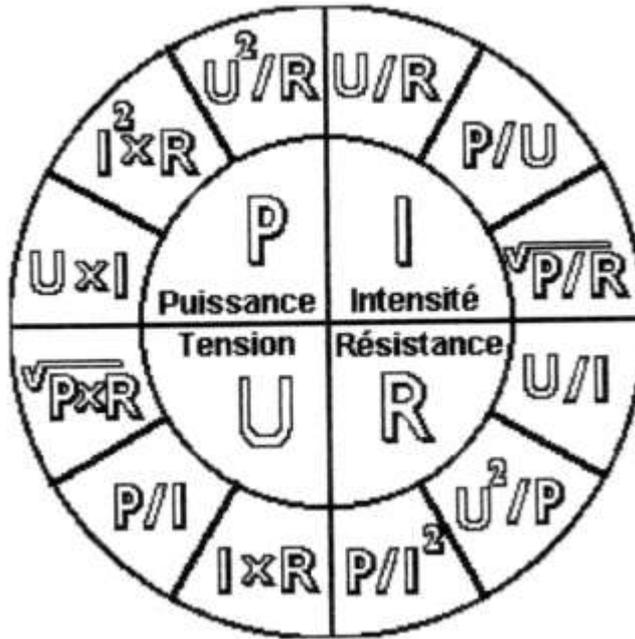
Le bilan global de cette conversion est caractérisé par un **rendement**.

Le système en équilibre : puissance absorbée  $P_a$  = puissance utile  $P_u$  + puissance perdue  $P_p$

Le rendement d'un système est défini par le rapport :

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + P_p}$$

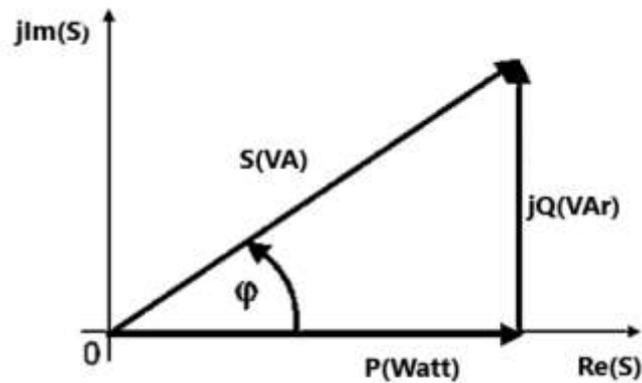




**Puissance : Formules combinées**

**En alternatif Trois puissances sont déterminantes**

Puissance apparente	S	[VA]	volt ampère	$S = U \cdot I$	Correspond au produit de la valeur efficace du courant et de la tension mesurée avec un voltmètre et un ampèremètre
Puissance active	P	[W]	watt	$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$	Correspond à une fourniture réelle d'énergie transmise au récepteur et convertible en chaleur ou en travail Elle est mesurée avec un wattmètre.
Puissance réactive	Q	[var]	volt ampère réactif	$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$	Correspond à la puissance fictive qui caractérise l'échange d'énergie non utilisée pour fournir un travail.

**Triangle des puissances :**

Facteur de puissance  $\cos\varphi = P/S$

**Théorème de Boucherot :**

Le théorème de Boucherot énonce la conservation des puissances actives et réactives. Dans tout circuit électrique :

- La puissance active totale consommée est égale à la somme arithmétique des puissances actives consommées par chaque récepteur  $P = P_1 + P_2 + P_3$
- La puissance réactive totale consommée est la somme algébrique des puissances réactives consommées par chaque récepteur. Ainsi dans le montage de la figure.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

- Par contre les puissances apparentes ne se conservent pas.  $S$  n'est pas égal à  $S_1 + S_2 + S_3$
- Cette méthode, s'applique à tout type de groupements, série ou parallèle.

- La puissance apparente totale se calcule par la relation :  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

## HISTORIQUE DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE

### Les Premières Sources D'énergie

De l'origine des temps à nos jours, l'humanité a toujours été animée par la volonté d'utiliser toutes les ressources de la nature pour rendre sa vie plus facile ou plus agréable.

Quelle est la forme d'énergie la plus ancienne utilisée par l'homme ? C'est sans aucun doute le feu !

Ensuite, vient le vent ! On date les premiers bateaux à voile de 3 000 ans avant Jésus-Christ.



L'utilisation de l'énergie éolienne venait de naître. Les premiers moulins à vent font leur apparition chez les Perses, vers 200 avant Jésus-Christ.



Après l'air... l'eau !

Cousins des moulins à vent, les moulins à eau remontent également à l'Antiquité.



Les barrages existent aussi depuis très longtemps. Le premier aurait été construit en Egypte par le pharaon Ménéès en 2900 avant Jésus-Christ. Mais ils servaient à stocker de l'eau pour les cultures et la consommation humaine et animale. Ce n'est qu'après la découverte de l'électricité qu'ils ont servi à produire de l'énergie.



Ces sources d'énergie anciennes restent plus que jamais utilisées de nos jours, avec des technologies plus performantes. Mais d'autres formes sont entrées en scène, **les énergies modernes.**

Enfin, la découverte de la radioactivité naturelle en 1896 a ouvert la voie à la maîtrise de l'atome. L'énergie nucléaire de fission était née. Il s'agit de casser de très gros atomes d'uranium pour libérer de l'énergie. Pour les pays qui ont fait ce choix (comme la France) c'est un moyen important de produire de l'électricité. Cette énergie est la plus récente, les premières centrales nucléaires datent en effet des années 1950.



**Définitions :**

- ✓ **La production de l'énergie électrique** consiste en la transformation de l'ensemble des énergies primaires en énergie électrique.
- ✓ **Une centrale électrique** est un site industriel destiné à la production d'électricité. Elle transforme diverses sources d'énergie primaire en énergie électrique en établissant des chaînes énergétiques.
- ✓ **Pointe électrique** Elle correspond à un maximum de puissance électrique sur le réseau, et donc à un pic de consommation d'électricité. Les profils de consommation d'électricité suivent une trame globalement périodique avec un pas journalier, hebdomadaire ou saisonnier. Ainsi, on parlera de pointe journalière pour désigner le maximum de puissance appelée sur une journée. Le niveau de la pointe saisonnière, désignant le maximum de puissance appelée sur une année, permet quant à lui de dimensionner en puissance le parc de production d'électricité
- ✓ **Charge moyenne :** La charge moyenne produite dans la centrale dans une période donnée (jour, mois ou année) est connue sous le nom de la charge moyenne ou la demande moyenne.

$$\text{Charge moyenne quotidienne} = \frac{\text{Nombre d'unités (kWh) générées dans un jour}}{24 \text{ heures}}$$

$$\text{Charge moyenne mensuelle} = \frac{\text{Nombre d'unités (kWh) générées dans un mois}}{\text{Nombre d'heures par mois}}$$

$$\text{Charge moyenne annuelle} = \frac{\text{Nombre d'unités (kWh) générées dans une année}}{8760 \text{ heures}}$$

- ✓ **Classification des centrales**

La puissance demandée par l'ensemble des clients d'un réseau subit de grandes fluctuations selon l'heure de la journée et selon les saisons.

---

Ces fluctuations de l'appel de puissance obligent les compagnies d'électricité à prévoir trois classes de centrales de génération :

- ❖ *Les centrales de base* de grande puissance qui débitent leur pleine capacité en tout temps. Les centrales nucléaires et les centrales thermiques sont particulièrement aptes à remplir ce rôle.
- ❖ *Les centrales intermédiaires* de puissance moyenne qui peuvent réagir rapidement aux fluctuations de la demande. C'est le cas des centrales hydrauliques dont le débit est facilement contrôlable.
- ❖ *Les centrales de pointe* Les centrales électrique de pointe, également appelées centrales d'écrêtage de pointe, sont des centrales de production d'énergie conçues pour aider à équilibrer les conditions énergétiques fluctuantes du réseau électrique. Les stations de pointe fonctionnent généralement en mode veille, puis lorsque la demande d'énergie du réseau électrique est à son maximum, les moteurs à gaz reçoivent un signal pour commencer l'opération. Grâce à leur flexibilité et leur robustesse, elles sont capables d'apporter une réponse rapide à la demande fluctuante. Ces centrales débitent leur pleine capacité que pendant de courtes périodes. C'est pourquoi les compagnies d'électricité encouragent les usagers à limiter leur charge de pointe.

### **Les Sources D'énergie :**

On désigne par énergies primaires les formes d'énergie telles quelles sont captées dans la nature.

Les principales ressources énergétiques sont résumées dans le tableau suivant :

Sources d'énergie	Avantages	Inconvénients
<b>Fossiles :</b> - Pétrole - Gaz - charbon	- Faciles à exploiter	- Production de CO <sub>2</sub> - Epuisable
<b>Nucléaire</b>	- Moins cher aujourd'hui. - Moins de CO <sub>2</sub>	- Epuisable - Déchet radioactifs - Risque d'accident nucléaire.
<b>Renouvelables:</b> - Eau - Soleil (thermique et photovoltaïque) - Vent - biomasse (bois, plantes...) - Géothermie	- Inépuisables à notre échelle. - Peu ou non polluantes	- Ne peuvent être implantée de partout. - Coût plus élevé. - Faible puissance. - Fabrication recyclage des cellules photovoltaïque

### Types de Charges :

Un dispositif qui utilise de l'énergie électrique à partir d'un système électrique s'appelle une charge. La charge peut être résistive (par exemple, lampe électrique), inductive (par exemple, moteur à induction), capacitive ou une certaine combinaison de celles-ci. Les différents types de charges dans le système d'énergie électrique sont:

#### 1. Charge domestique

La charge domestique comprend l'éclairage, ventilateur, réfrigérateur, chauffage, télévision et des petits moteurs pour pomper de l'eau etc. La plupart de la charge résidentielle ne se produit que pendant quelques heures pendant la journée (c.-à-d. 24 heures), par exemple, la charge d'éclairage domestique survient pendant la nuit et la charge de l'appareil ne dure que quelques heures.

#### 2. Charge commerciale

La charge commerciale se compose de l'éclairage pour les magasins, les ventilateurs et les appareils électriques utilisés dans les restaurants, etc. Cette classe de charge se produit pendant plus d'heures au cours de la journée par rapport à la charge domestique. La charge

---

commerciale présente des variations saisonnières en raison de l'utilisation intensive des climatiseurs et les appareils de chauffage.

### **3. Charge industrielle**

La charge industrielle se compose de la demande de charge par les industries. L'ampleur de la charge industrielle dépend du type d'industrie. Ainsi, l'industrie à petite échelle nécessite une charge jusqu'à 25 kW, l'industrie à grande échelle entre 25 kW et 100 kW et l'industrie à grande échelle nécessite une charge supérieure à 500 kW. Les charges industrielles ne dépendent généralement pas du temps.

### **4. Charge municipale**

La charge Municipal se compose de l'éclairage public, l'énergie nécessaire à des fins d'alimentation en eau et de drainage. La charge d'éclairage de la rue est pratiquement constante tout au long des heures de nuit. Pour l'approvisionnement en eau, l'eau est pompée vers des réservoirs par des pompes entraînées par des moteurs électriques. Le pompage est effectué pendant la période hors pointe, généralement pendant la nuit. Cela aide à améliorer le facteur de charge du système électrique.

### **5. Charge d'irrigation**

Ce type de charge est la puissance électrique nécessaire pour les pompes entraînées par des moteurs pour fournir l'eau aux champs. En général, ce type de charge est alimenté pendant 12 heures pendant la nuit.

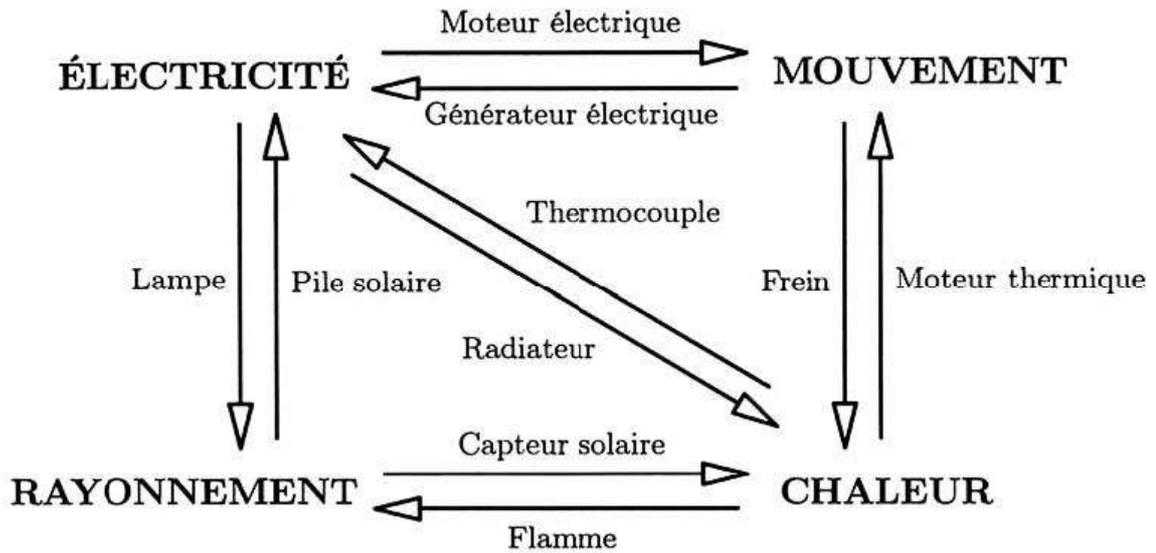
### **6. Charge de traction**

Ce type de charge comprend les tramways, les chemins de fer, etc. Cette classe de charge a une grande variation. Pendant l'heure du matin, il atteint une valeur maximale parce que les gens doivent aller dans leur lieu de travail. Après le matin, la charge commence à diminuer et augmente encore pendant le soir, car les gens commencent à revenir chez eux.

## **Les Transformations de l'Energie :**

L'Energie se présente sous diverses formes, et passe d'une forme à l'autre par différentes transformations.

Parmi les différentes formes, on retrouve les **énergies thermique, mécanique, électrique, chimique, rayonnante, cinétique, et nucléaire**. Il existe différents moyens pour passer d'une énergie à une autre. Certains sont **naturels** (photosynthèse, muscles), certains sont **artificiels** (moteurs, éoliennes).



Les principales transformations des formes d'énergie libre

## Centrale thermique à vapeur

### Introduction :

Avec l'avènement de la révolution industrielle, l'idée d'exploiter l'énergie de la vapeur a évolué avec le développement de la thermodynamique et de la mécanique des fluides, ainsi les turbines à vapeur conquièrent le marché et s'octroyèrent le rôle de producteur massif d'énergie.

Dans une centrale thermique, une chaudière chauffe de l'eau et la transforme en vapeur. L'énergie calorifique est obtenue en brûlant le plus souvent du charbon, du pétrole ou du gaz.

La chaleur dégagée par la combustion vaporise l'eau qui atteint alors une très haute température.

Cette vapeur se détend progressivement dans les corps haute, moyenne et basse pression de la turbine avant de se liquéfier dans le condenseur et d'être renvoyée dans le générateur de vapeur.

L'énergie mécanique engendrée par la vapeur circulant dans la turbine, entraîne l'alternateur qui la transforme en énergie électrique.

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. La plupart ont une capacité comprise entre 200 MW et 2000 MW afin de réaliser les économies d'une grosse installation. On la trouve souvent près d'une rivière ou d'un lac, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines.

En fonctionnement nominal, le rendement de ces centrales se situe entre 40 et 42%. Leur minimum technique est de l'ordre de 20 %. Elles peuvent participer au réglage primaire et secondaire de la fréquence.

Le principe de production de l'électricité dans la centrale peut donc être schématisé comme suit :



### Principe de production d'électricité dans les centrales à vapeur

### Les Différentes Transformations Energétiques dans une Installation Motrice a Vapeur :

Avant de décrire le fonctionnement de la centrale, il sera bon de rappeler les différentes transformations énergétiques qui ont servi à la production de l'énergie électrique. En gros on a trois (3) transformations :

1. Transformation de l'énergie contenue à l'état latent dans le combustible (énergie chimique) en énergie calorifique.

**Chaudière :** Energie chimique  $\longrightarrow$  Energie calorifique

2. Transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique.

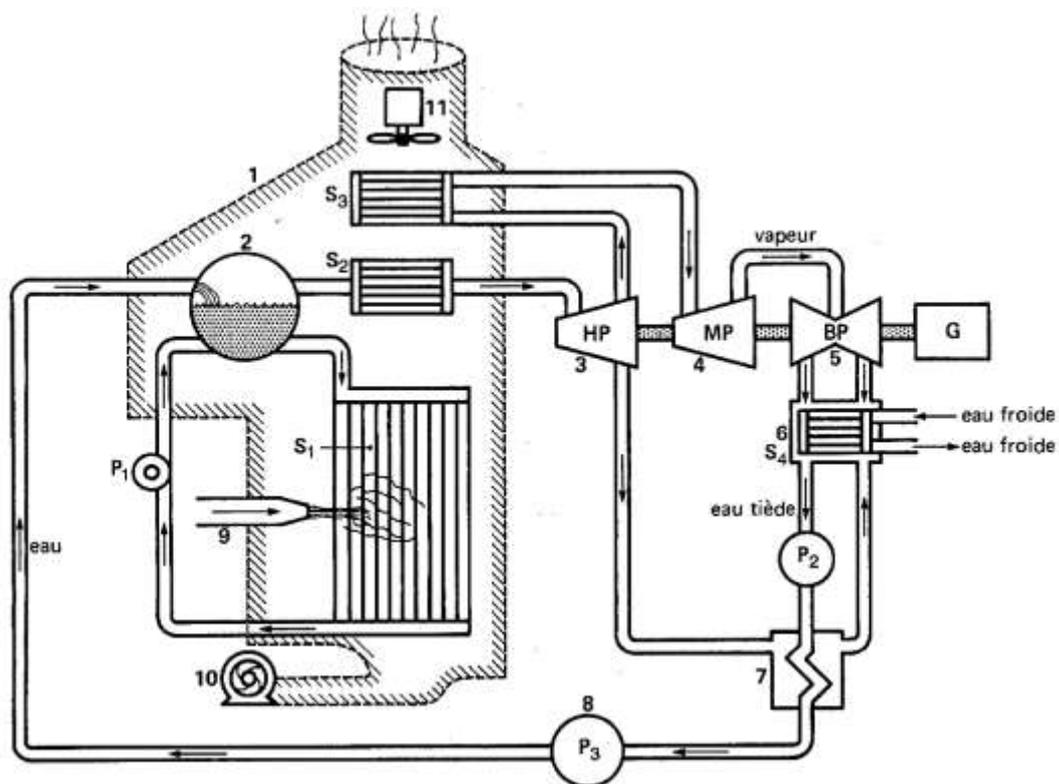
**Turbine :** Energie calorifique  $\longrightarrow$  Energie mécanique

3. Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique.

**Alternateur :** Energie mécanique  $\longrightarrow$  Energie électrique

### Organisation D'une Centrale Thermique :

La figure montre les parties principales d'une centrale thermique identifiées comme suit :



Eléments d'une centrale thermique

1. **Immense chaudière** construite en hauteur dans laquelle on brûle le combustible. La chaleur est absorbée par l'eau circulant dans une série de tubes SR1 R qui entourent les flammes. La circulation est forcée par la pompe PR1R.
2. **Réservoir**, contenant de l'eau et de la vapeur à haute pression. Il constitue à la fois le point de départ de la vapeur vers les turbines et le récepteur de l'eau d'alimentation de retour. La vapeur se dirige vers la turbine haute pression (HP) en passant par un surchauffeur SR2R. Ce dernier formé d'une série de tubes entourant le feu, provoque une forte augmentation de la température de la vapeur (200 °C environ). Cela assure une vapeur qui est absolument sèche et donne un meilleur rendement thermique.
3. **Turbine haute pression (HP)** qui permet une première expansion de la vapeur durant laquelle une partie de l'énergie mécanique. La pression et la température à la sortie de la turbine HP sont donc plus basses qu'à l'entrée. Afin d'augmenter le rendement thermique et pour éviter une condensation prématurée de la vapeur, on la fait passer par un réchauffeur SR3R composé d'une troisième série de tubes.
4. **Turbine moyenne pression (MP)** semblable à la turbine HP sauf qu'elle est plus grosse pour permettre à la vapeur de se détendre davantage.
5. **Turbine basse pression (BP)** à double carter qui enlève le reste de l'énergie thermique disponible dans la vapeur, permettant à cette dernière de se détendre dans un vide presque complet à l'intérieur du condensateur.
6. **Condensateur** qui provoque la condensation de la vapeur, grâce à la circulation d'eau froide venant de l'extérieur et circulant dans des tubes SR4R. Une pompe d'extraction PR2R enlève l'eau tiède condensée et la pousse à travers le réchauffeur (7) vers la pompe PR3 R alimentant la chaudière.
7. **Réchauffeur** Dans cet échangeur de chaleur, une partie de la vapeur qui est passée par la turbine HP réchauffe l'eau d'alimentation, après quoi, la vapeur se condense aussi dans le condensateur. Les analyses thermodynamiques prouvent que le rendement ainsi obtenu est meilleur que si la vapeur dérivée dans le réchauffeur allait aux turbines MP et BP en passant par le réchauffeur SR3R.

---

**8. Pompe d'alimentation** PR3 R qui refoule l'eau d'alimentation contre la forte pression régnant à l'intérieur du ballon (2) et complète ainsi le cycle thermique

**9. Brûleurs** provoquant la combustion du gaz, du mazout ou du charbon pulvérisé projeté à l'intérieur de la chaudière.

Avant d'être projeté dans la chaudière, le charbon est réduit en poudre. De la même façon, l'huile lourde est préchauffée et soufflée en jet vaporisé afin d'augmenter sa surface de contact avec l'air environnant.

**10. Ventilateur** soufflant l'air requis pour la combustion

**11. Ventilateur** aspirant les gaz brûlés qui s'échappent par la cheminée.

En pratique, une centrale contient bien d'autres appareils et accessoires essentiels pour assurer un bon rendement et des conditions sécuritaires. Ainsi, des vannes de réglage permettent de contrôler l'admission de la vapeur dans les turbines, un système d'épuration maintient la propreté de l'eau d'alimentation, des pompes gardent les paliers en bon état de lubrification, etc. Cependant, les composants que nous venons de décrire suffisent à expliquer le fonctionnement et les problèmes de base d'une centrale thermique.

## **Sélection Du Site Pour La Centrale Thermique :**

### **1. approvisionnement en carburant**

La centrale électrique à vapeur devrait être située près de la mine de charbon de sorte que le coût de transport du carburant soit minimum. Si le terrain n'est pas disponible à proximité des mines de charbon, prévoir des installations adéquates pour le transport du carburant.

### **2. Disponibilité de l'eau**

Une énorme quantité d'eau est nécessaire pour alimenter la chaudière et le condenseur, pour cela la station devrait être située près de la mer, rivière, du lac, etc.

### 3. Facilite de transport

Pour la centrale à vapeur offrir un meilleur service de transport pour le transport de l'homme, de la machinerie, etc.,

### 4. Type de terrain:

La centrale électrique à vapeur devrait être installée dans un terrain où l'extension future est possible et zone non sismique.

### 5. Prés du poste électrique:

Afin de réduire les pertes de transmission et de distribution, la centrale devrait être située près du poste Interconnexion.

### 6. Distance de la zone d'habitation:

Comme la centrale thermique produit des gaz de combustion, ces gaz affecteront l'être humain vivant, donc la centrale devrait être située loin de la zone densément peuplée.

## Avantages Et Inconvénients

### ➤ AVANTAGES

- ✓ Centrales d'appoint qui peuvent être facilement mise en fonctionnement ou arrêtées
- ✓ Moyen de production d'électricité « dispatchable » pour répondre aux variations de la demande
- ✓ Autonomie (dépendant de l'approvisionnement et du stock de combustible)
- ✓ Flexibilité dans le choix du combustible (pour certaines technologies)
- ✓ Longue durée de vie (30 à 40 ans)

---

### ➤ INCONVENIENTS

- ✓ Réactivité faible au démarrage (plus d'1h pour atteindre la puissance max)
- ✓ 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)
- ✓ Coût et usure liés aux arrêts / démarrages
- ✓ Besoin d'un débouché (ouverture) chaleur pour la cogénération

## **CENTRALE THERMIQUE A GAZ**

### **Introduction :**

Les centrales à gaz sont basées sur la combustion du gaz naturel ou fioul dans de l'air sous pression et sur la détente des gaz chauds brûlés dans une turbine couplée à un alternateur. La turbine est l'élément de base d'une centrale électrique. C'est un moteur rotatif qui convertit l'énergie de vapeur ou de gaz en énergie mécanique. Plus généralement, c'est un organe permettant la détente d'un fluide en recueillant son énergie sous formes mécanique. On distingue les turbines hydrauliques, les turbines à vapeur et les turbines à gaz.

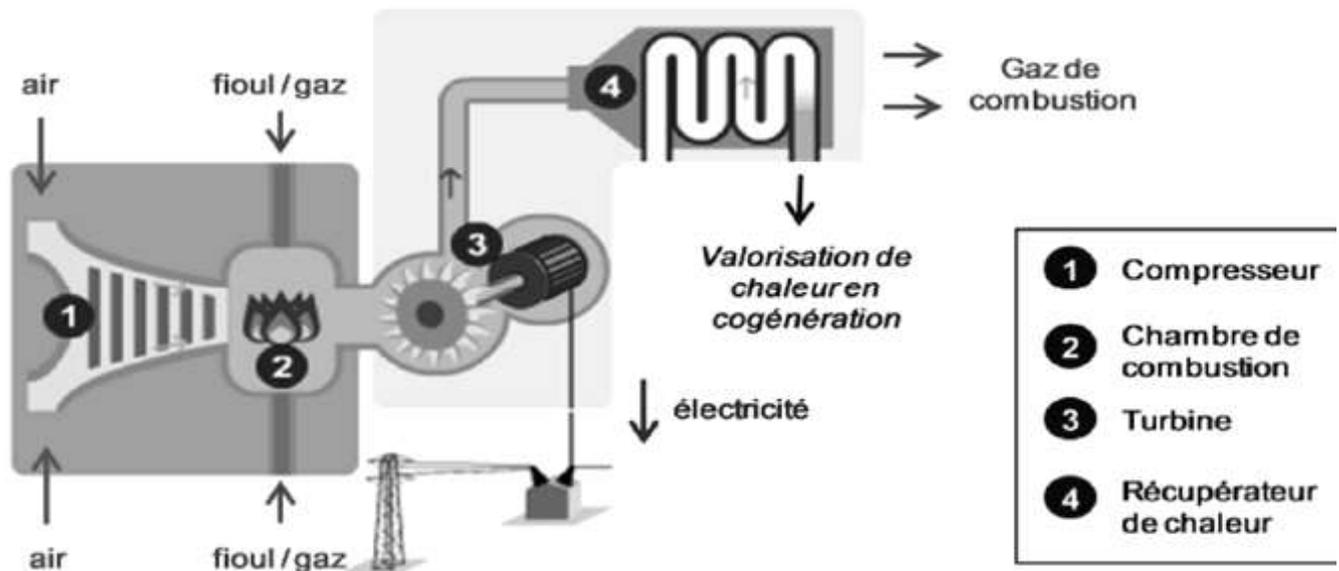
### **Turbines à Combustion (TAC) :**

Les turbines à gaz (turbines à combustion) sont plus généralement connues pour leur application dans le domaine de l'aéronautique, mais elles ont également utilisées pour la propulsion ferroviaire et marine. Aujourd'hui, les générateurs à turbine à gaz produisent la plus grande partie de l'énergie électrique dans le monde.

Le système d'une turbine à gaz est composé principalement d'un compresseur (généralement à plusieurs étages), d'un système de combustion (plusieurs chambres de combustion), d'une turbine à plusieurs étages, un dispositif de démarrage et quelques auxiliaires.

Dans sa forme la plus simple et la plus répandue, une turbine à combustion est composée de trois éléments :

- ✓ Un compresseur, centrifuge ou plus généralement axial, qui a pour rôle de comprimer de l'air ambiant à une pression comprise aujourd'hui entre 10 et 30 bars environ ;



### Turbine à gaz simple

- ✓ Une chambre de combustion, dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, puis brûlé avec l'air comprimé, avec un fort excès d'air afin de limiter la température des gaz d'échappement ;
- ✓ Une turbine, généralement axiale, dans laquelle sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion.

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.

Sous cette forme, la turbine à gaz constitue un moteur à combustion interne à flux continu.

On notera que le terme de turbine à gaz provient de l'état du fluide de travail, qui reste toujours

---

gazeux, et non du combustible utilisé, qui peut être aussi bien gazeux que liquide.

Sur le réseau électrique, la forte réactivité des TAC (moins de 30 min pour atteindre la puissance max) est souvent mise à profit pour fournir la pointe électrique.

Les TAC sont également répandus 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.

### **Avantages Et Inconvénients**

#### **➤ AVANTAGES**

- ✓ Moyen de production d'électricité « dispatchable » pour répondre aux variations de la demande
- ✓ Forte réactivité (moins de 30 min pour atteindre la puissance max)
- ✓ Autonomie et sécurité de fourniture des TAC fioul, grâce au stock de combustible sur site
- ✓ Longue durée de vie (25 à 30 ans)
- ✓ Qualité de la chaleur pour cogénération (haute température)

#### **➤ INCONVENIENTS**

- ✓ Usage de combustibles fossiles (raréfaction et coût de la ressource, dépendance énergétique)
- ✓ Emissions de gaz à effet de serre et d'éléments polluants, notamment pour le fioul (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>)
- ✓ Coût et usure liés aux arrêts / démarrages (croissants avec le besoin de flexibilité sur les réseaux)
- ✓ Besoin d'un débouché chaleur pour la cogénération.

---

## CENTRALE THERMIQUE A CYCLE COMBINE

### Introduction :

La recherche continue pour améliorer le rendement thermique qui a donné lieu à des modifications plutôt innovantes aux centrales électriques conventionnelles. La modification la plus populaire implique le cycle à gaz qui surmonte un cycle de vapeur, qui est appelé le cycle combiné gaz-vapeur, ou simplement le cycle combiné.

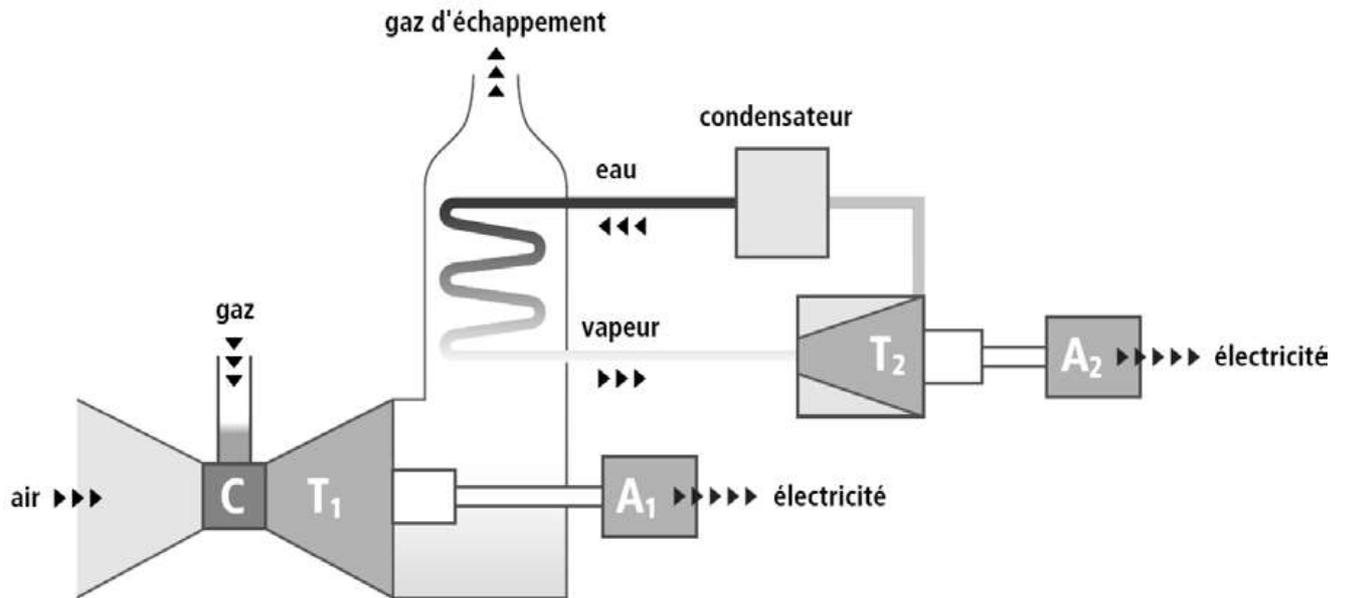
### Principe De Fonctionnement :

Les centrales à cycle combiné (CCC) sont de grandes centrales thermiques utilisant le gaz naturel comme combustible pour produire de l'électricité sur deux 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.

□ Un mélange de gaz naturel et d'air comprimé est brûlé dans une chambre à combustion (C), à une température d'environ 1300 degrés. En augmentant de volume, les gaz chauds issus de la combustion actionnent une turbine (T1) qui, reliée à un alternateur (A1), permet de produire de l'électricité.

Le rendement de cette turbine à gaz simple n'est pas très élevé, entre 35 et 38%, car une grande partie de l'énergie est perdue sous forme de chaleur dans les gaz d'échappement. La meilleure solution pour augmenter ce rendement consiste à récupérer la chaleur des gaz d'échappement, pour le chauffage ou la production de vapeur.

□ Au sortir de la première turbine, les gaz d'échappement sont encore suffisamment chauds pour produire de la vapeur. Dans une centrale à cycle combiné, cette vapeur sert à actionner une deuxième turbine (T2), reliée à un deuxième alternateur (A2). Le rendement global pour la production électrique d'une centrale à cycle combiné au gaz naturel oscille actuellement entre 58 et 61%. Une partie de la chaleur des gaz d'échappement issus de la combustion du gaz naturel peut également être utilisée pour le chauffage.



**Principe d'une centrale à gaz à cycle combiné**

La cogénération sur les cycles combinés gaz (CCG) est possible en valorisant la chaleur résiduelle, mais elle demeure peu répandue.

### Avantages Et Inconvénients :

#### ➤ AVANTAGES

- ✓ Moyen de production d'électricité « dispatchable » pour répondre aux variations de la demande
- ✓ Rendement élevé par rapport à un cycle simple
- ✓ Réactivité (30 min à 1h pour atteindre la puissance max)
- ✓ Impact environnemental réduit par rapport aux centrales thermiques à flammes: émissions de gaz à effet de serre et d'éléments polluants (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, etc.) moindres
- ✓ Longue durée de vie (25 à 30 ans)

#### ➤ INCONVENIENTS

- ✓ Usage de combustibles fossiles (raréfaction et coût de la ressource, dépendance énergétique)
- ✓ Emissions de gaz à effet de serre
- ✓ Coût et usure liés aux arrêts / démarrages (croissants avec le besoin de flexibilité sur les réseaux)
- ✓ Besoin d'un débouché chaleur pour la cogénération

## CENTRALE NUCLEAIRE

### Introduction

Les centrales nucléaires produisent l'électricité à partir de la chaleur libérée par une réaction nucléaire. Ce phénomène est provoqué par la division du noyau d'un atome, procédé que l'on appelle fission nucléaire.

Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique à vapeur, sauf que la chaudière est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission.

Une telle centrale comprend donc une turbine à vapeur, un alternateur, un condenseur, etc. comme dans une centrale thermique conventionnelle. Le rendement global est semblable (entre 30 % et 40 %) et l'on doit encore prévoir un système de refroidissement important, ce qui nécessite un emplacement près d'un cours d'eau ou la construction d'une tour de refroidissement. A cause de ces similitudes, nous nous limiterons à l'étude du principe de fonctionnement et des caractéristiques du réacteur lui-même.

### Composition Du Noyau Atomique

Le noyau d'un atome est composé de protons et de neutrons, il existe des éléments appelés « isotopes » contenant un ou quelques neutrons en surplus par rapport au nombre habituel.

Éléments	Symbole	Protons	Électrons	Neutrons
Hydrogène	$H$	1	1	0
Deutérium	${}^2H$	1	1	1
Tritium	${}^3H$	1	1	2
Eau légère	$H_2O$	10	10	8
Eau lourde	${}^2H_2O$	10	10	10
Uranium 235	${}^{235}U$	92	92	143
Uranium 238	${}^{238}U$	92	92	146

## Composition atomique de quelques éléments

### Energie Libérée Par La Fission

Lorsque le noyau subit la fission, il se sépare en deux, une quantité d'énergie est libérée de la diminution de la masse. Sa valeur est donnée par la relation :

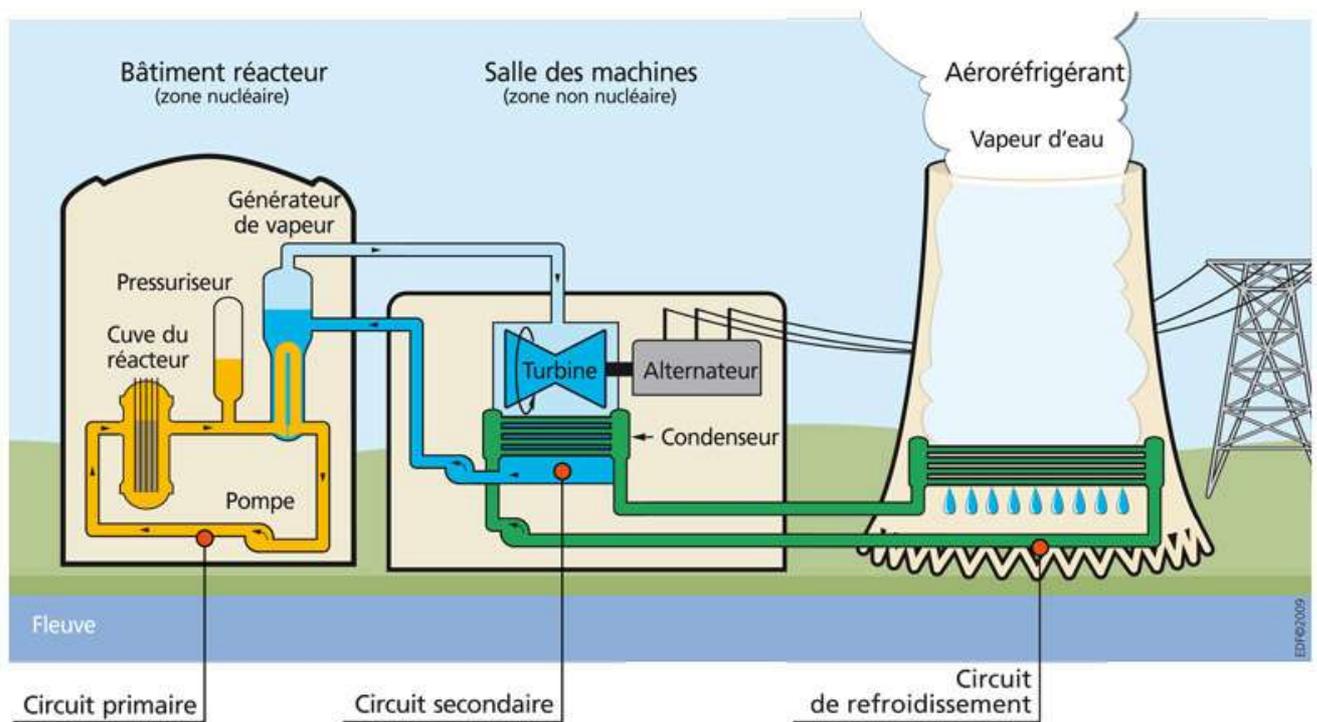
$$E = \Delta m \cdot C^2$$

Avec : E : énergie libérée, en joules [J]

$\Delta m$  : diminution de masse, en kilogrammes [kg]

C : vitesse de la lumière [ $3 \times 10^8$  m/s]

Une diminution de 1 Gramme donne une énergie  $E = 9 \cdot 10^{13}$  joule, équivalent à trois tonnes de charbon.



Centrale nucléaire

## **Le Processus De Production D'électricité Dans Une Centrale Nucléaire A Eau Sous Pression**

### **1. Le circuit primaire**

Dans le réacteur, la fission des atomes d'uranium produit une grande quantité de chaleur. Cette chaleur fait augmenter la température de l'eau qui circule autour du réacteur, à 320 °C. L'eau est maintenue sous pression pour l'empêcher de bouillir. Ce circuit fermé est appelé circuit primaire.

### **2. Le circuit secondaire**

Le circuit primaire communique avec un deuxième circuit fermé, appelé circuit secondaire par l'intermédiaire d'un générateur de vapeur. Dans ce générateur de vapeur, l'eau chaude du circuit primaire chauffe l'eau du circuit secondaire qui se transforme en vapeur. La pression de cette 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 très haute tension.

### **3. Le circuit de refroidissement**

À la sortie de la turbine, la vapeur du circuit secondaire 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. Ce troisième circuit est appelé circuit de refroidissement.

En bord de rivière, l'eau de ce 3<sup>e</sup> circuit peut alors être refroidie au contact de l'air circulant dans de grandes tours, appelées aéroréfrigérants.

Les 3 circuits d'eau sont étanches les uns par rapport aux autres.

## **AVANTAGES ET INCONVENIENTS**

**➤ AVANTAGES**

- ✓ Pas d'émission de gaz à effet de serre pour la production d'électricité
- ✓ Coût relativement faible de combustible
- ✓ Longue durée de vie (40 à 60) ans
- ✓ Forte densité énergétique

**➤ INCONVENIENTS**

- ✓ Gestion des déchets nucléaires
- ✓ Usage de combustible fossile (Dépendance énergétique)
- ✓ Acceptabilité sociale complexe
- ✓ Criticité d'impact en cas d'incident
- ✓ Complexité du démantèlement et de la gestion de la fin de vie des centrales