

UNIVERSITÉ ABOU BAKR BELKAÏD, TLEMCEN
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GENIE INDUSTRIEL

Matière : Energies et Environnement

Chapitre 3 : Production de l'énergie électrique

Cours destiné aux :
Etudiants du L2 Genie Industriel

Responsable de la matière :
Dr H.KADRAOUI



Plan de cours

- Introduction
- Historique de la production d'électricité
- Dispositifs de production d'énergie électrique
- Production d'énergie électrique
- Chaîne énergétique de conversion
- Transport de l'énergie électrique
- Mesure de l'énergie électrique
- A retenir



Introduction

L'électricité est un élément essentiel à toutes activités humaines et sa consommation ne cesse d'augmenter à cause de la croissance démographique et du développement économique. Ainsi, la production mondiale d'électricité croît d'environ 2 % par an et devrait doubler d'ici 2040.

L'énergie électrique présente de nombreux avantages : une distribution aisée, sûre et à faible impact écologique. Les procédés d'obtention d'énergie électrique sans combustion justifient le rôle central que cette forme d'énergie est amenée à jouer à l'avenir.



Historique de la production d'électricité

1800 : Volta invente la pile. 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. Grâce à elle, les physiciens de l'époque peuvent entreprendre de nombreuses recherches sur les propriétés du courant électrique et sur la résistance électrique. Ces travaux sont à l'origine du transport d'électricité par câbles.

Historique de la production d'électricité

1820 : **Oersted** remarque qu'une aiguille aimantée placée à côté d'un fil conducteur traversé par le courant est déviée. Quelques semaines après l'annonce des résultats d'Oersted, **Ampère** réussit à fabriquer une bobine (solénoïde) pouvant créer un champ magnétique. Il est le premier à établir scientifiquement un lien entre l'électricité et le magnétisme. Elle ouvre la voie à de nombreuses inventions comme celle du télégraphe, qui révolutionnera un peu plus tard les moyens de communication.

Historique de la production d'électricité

1830 : Michael Faraday L'histoire du début des applications de l'électricité est dominée par les découvertes du physicien anglais, Michael Faraday en 1830. En reliant les bornes d'une bobine à un galvanomètre (sorte d'ampèremètre), il observe le passage d'un courant dans la bobine . L'importance de cette découverte est extrême car elle rend possible la production de courant électrique sans avoir à utiliser de pile. L'énergie mécanique peut, dès lors, être directement convertie en énergie électrique. C'est ce que font depuis, tous les alternateurs.

Historique de la production d'électricité

L'alternateur et le transformateur

En 1882, l'ingénieur croate Nikola Tesla met au point l'**alternateur**, un appareil capable, comme son nom l'indique, de produire du courant dont la direction alterne constamment d'un sens à l'autre du fil porteur. Au cours de cette même année, le chimiste français Lucien Gaulard présente un **transformateur** capable de modifier le voltage du courant alternatif. Ces deux inventions facilitent grandement la production d'électricité à grande échelle et le transport de l'énergie électrique sur de grandes distances.

Historique de la production d'électricité

La lampe à incandescence

Il faut quand même souligner la contribution de **Thomas Edison** qui invente plusieurs appareils électriques dont, en 1879, une ampoule pour l'éclairage intérieur des maisons. Trois ans plus tard, il met en service la première centrale électrique d'Amérique. Équipée de six génératrices, la centrale alimente en courant continu 85 bâtiments du quartier de Wall Street à New York.

Quelques unités énergétiques

- Le Joule (unité S.I.), travail produit par une force de 1 newton dont le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force.
- La calorie, c'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 gramme d'eau pour augmenter sa température de 14,5 à 15,5°C. $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$
- Autres unités :
 - Le wattheure : $1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J}$
 - La thermie : $1 \text{ th} = 1 \text{ Mcal}$
 - La tonne équivalent pétrole : $1 \text{ tep} = 11,6 \text{ MWh}$
 - L'électronvolt : $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 - Le british thermal unit : $1 \text{ Btu} = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ kWh}$

Dispositifs de production d'énergie électrique



Les dispositifs permettant d'obtenir de l'énergie électrique les plus répandus sont basés sur la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz). Ces procédés ont de forts impacts environnementaux : épuisement de ressources fossiles, émissions de gaz à effet de serre, pollutions environnementales. Le développement de dispositifs d'obtention d'énergie électrique sans combustion connaît un essor très significatif à travers le monde.

Dispositifs de production d'énergie électrique

Plusieurs méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion :

- **la conversion d'énergie mécanique.** Grâce à un alternateur, l'énergie mécanique est convertie en énergie électrique dans les centrales éoliennes, hydroélectriques, thermiques nucléaires, solaires thermiques et géothermiques ;
- **la conversion de l'énergie radiative.** Dans une centrale solaire, les cellules photovoltaïques convertissent l'énergie radiative du Soleil en énergie électrique ;
- **la conversions électrochimique.** Les piles et accumulateurs sont le siège de conversions électrochimiques. Des transformations chimiques permettant de convertir l'énergie chimique contenue dans les réactifs en énergie électrique.

Modes de production de l'énergie électrique

La production d'énergie électrique a pour objectif de couvrir les besoins en énergie électrique d'un pays ou d'un territoire géographique défini par transformation d'une énergie primaire en énergie électrique. La génération de l'énergie électrique pour les besoins de la consommation peut prendre deux formes :

- ✓ **Génération centralisée**
- ✓ **Génération décentralisée/distribuée**

Modes de production de l'énergie électrique

✓ Génération centralisée

Les productions dites centralisées sont généralement des installations de grande taille unitaire, **raccordées au niveau du réseau de transport**. De plus, elles disposent d'une commande centralisée leur permettant de participer à la sûreté du système électrique. Les technologies largement utilisées sont :

- Les centrales thermiques à flamme
- Les centrales nucléaires
- Les centrales hydroélectriques
- Les centrales photovoltaïques
- Les centrales éoliennes
- Les centrales biomasses

Modes de production de l'énergie électrique

✓ Génération décentralisée/distribuée

La production décentralisée aussi appelée production distribuée est la production d'énergie électrique à l'aide d'installations de petite capacité raccordées au réseau électrique à des niveaux de tension peu élevée : basse ou moyenne tension (réseau de distribution). Elle se distingue de la production dite centralisée réalisée au moyen de grosses centrales thermiques (nucléaires ou conventionnelles) ou hydrauliques, connectées à un réseau de transport de grande ampleur.

Production d'énergie électrique

Produire de l'énergie électrique



dans les centrales électriques

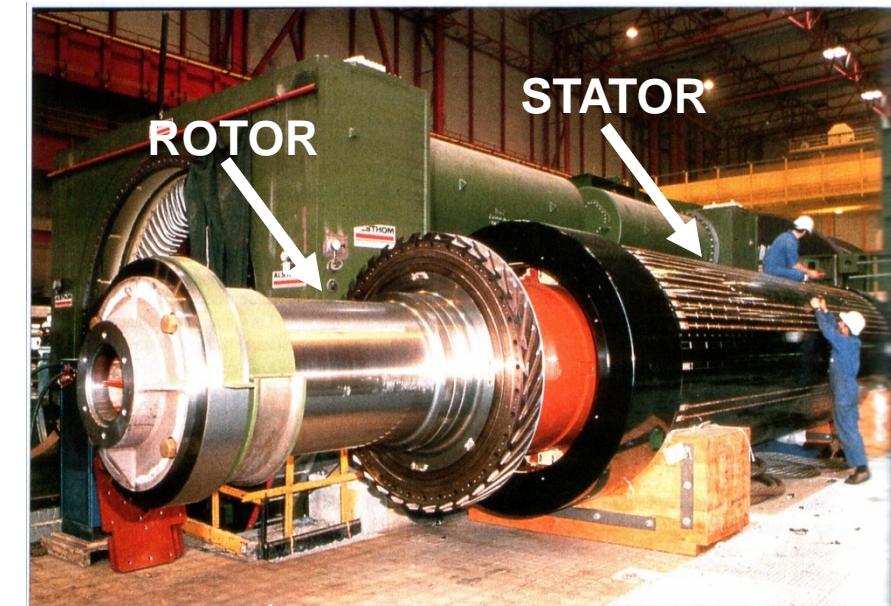
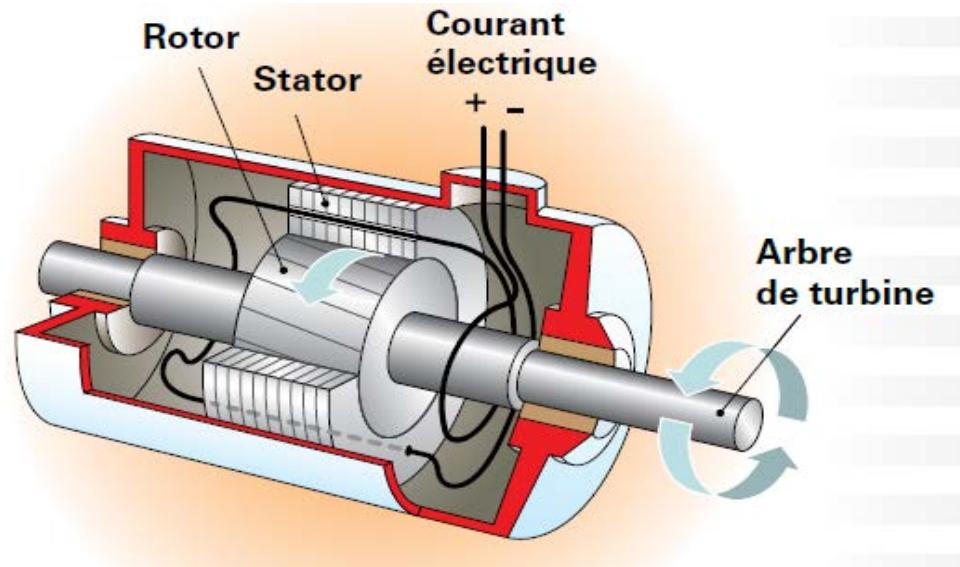
<https://www.youtube.com/watch?v=IngoXI5btsU>

Production d'énergie électrique

- La production d'électricité est assurée par la conversion en énergie électrique d'une **énergie primaire** qui peut être : mécanique, chimique, nucléaire ou solaire.
- L'énergie électrique est produite dans **des centrales** qui disposent d'éléments indispensables à la génération de courant électrique qui sont :
 - **Une turbine** en mouvement.
 - **Un alternateur** qui transforme **l'énergie mécanique** en **énergie électrique**.
- Avant d'être injectée dans le réseau électrique, la tension générée par l'alternateur est adaptée par un **transformateur**.

Production d'énergie électrique

L'alternateur est la partie commune à toutes les centrales électriques. C'est un dispositif qui produit un courant alternatif et fournit à ses bornes, une tension variable et alternative. Il est constitué , d'un aimant géant appelé **ROTOR** tourne à l'intérieur d'un bobinage de fils de cuivre nommé **STATOR**.

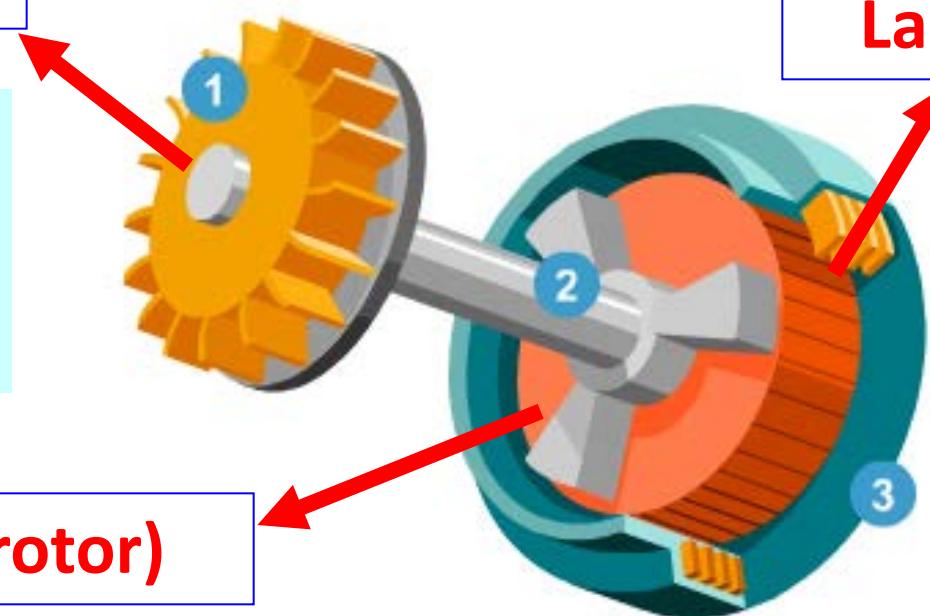


Production d'énergie électrique

Le groupe turbine-alternateur

La turbine

Mise en mouvement par de l'eau ou de la vapeur, elle fait tourner l'axe sur lequel elle est fixée



La bobine fixe (stator)

Elle est composée d'une bobine de fils de cuivre qui ne bouge pas

L'aimant mobile (rotor)

Il est composé d'une série d'aimants collés sur la roue entraînée par l'axe

La proximité avec les aimants tournants du rotor crée le courant électrique

Production d'énergie électrique

Le groupe turbine-alternateur



Médiathèque - La turbine et l'alternateur.mp4

<https://www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/energies/turbine-et-alternateur.aspx>

Production d'énergie électrique

- Pour alimenter les centrales, il existe 2 sortes d'énergie. Parmi elles, **les énergies renouvelables** (elles englobent les énergies effectivement renouvelables telles que la **biomasse** et celles quasiment inépuisables telles que l'**énergie solaire**, l'**énergie hydraulique** ou l'**énergie éolienne**) et celles qui constituent des **ressources non renouvelables** dont la disponibilité est limitée dans le temps (**combustibles fossiles ou nucléaire**).
- Toutes les sources d'énergie permettent de produire de l'électricité. Le prix de revient du kWh est aujourd'hui toujours plus élevé pour les énergies renouvelables, sauf pour l'hydroélectricité.

Production d'énergie électrique

Centrales thermiques à flamme

- Pratiquement, les **centrales thermiques** sont les plus utilisées en Algérie pour produire de l'électricité, elles nécessitent de disposer d'une source de chaleur qui est généralement obtenue par la combustion d'un combustible fossiles **tel que le gaz naturel, pétrole, charbon, le fioul...**
- Ces centrales thermiques, grâce à leur flexibilité et réactivité, constituent l'un des moyens les plus efficaces pour faire face aux variations de la demande d'électricité.

Production d'énergie électrique

Centrales thermiques à flamme

Principe de fonctionnement

<https://www.youtube.com/watch?v=0WI2BzcCYp4>



Production d'énergie électrique

Centrales thermiques à flamme

Principe de fonctionnement

<https://www.youtube.com/watch?v=0WI2BzcCYp4>



Production d'énergie électrique

Centrales thermiques à flamme

Principe de fonctionnement

<https://www.youtube.com/watch?v=0WI2BzcCYp4>



Production d'énergie électrique

Centrales thermiques à flamme

- 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%.

Chaîne énergétique de conversion

- Les conversions d'énergie peuvent être représentées par des chaînes énergétiques. Ces schémas comprennent :
 - les réservoirs d'énergie (éoliennes, centrales thermiques, géothermie...);
 - les convertisseurs d'énergie qui assurent le passage d'une forme à une autre ;
 - les formes d'énergie à l'entrée et à la sortie des convertisseurs.

Chaîne énergétique de conversion

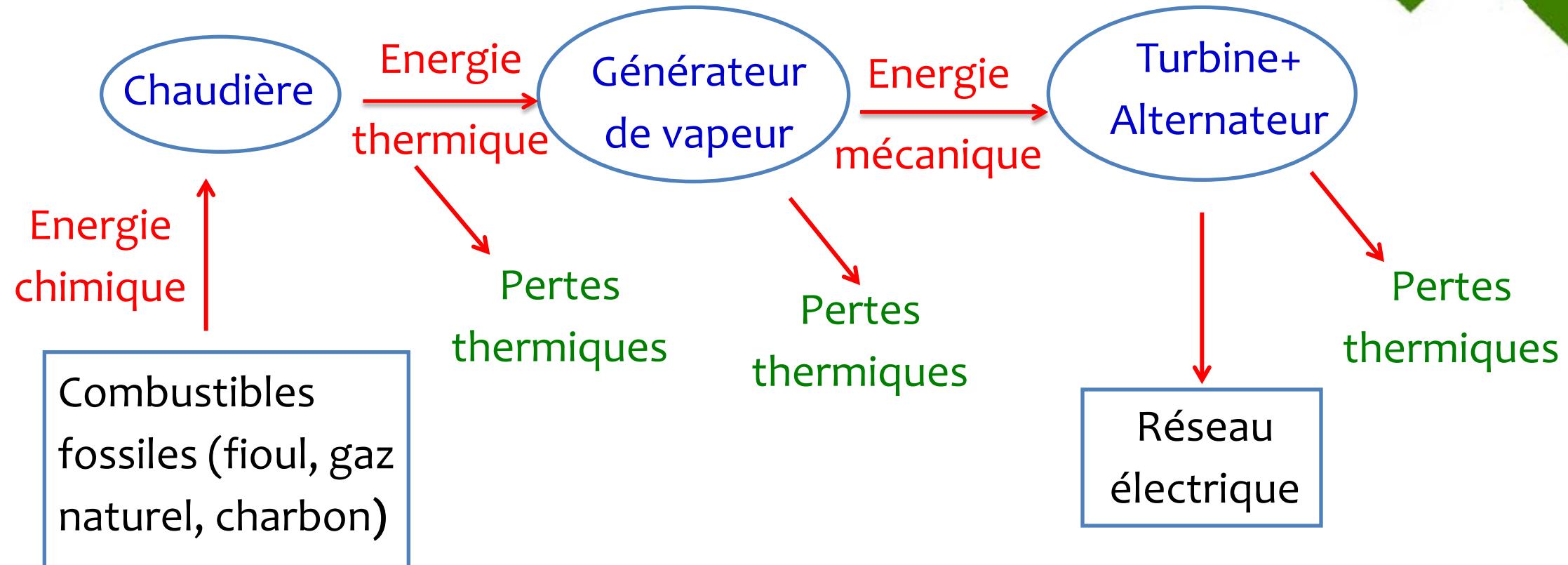
Pour évaluer l'efficacité d'une conversion d'énergie, on définit une grandeur sans dimension appelé rendement du convertisseur. Le rendement est égal au rapport de l'énergie utile délivrée par le convertisseur sur l'énergie qu'il a reçue à l'entrée :

A diagram showing the formula for efficiency. A yellow rounded rectangle contains the equation $\eta = \frac{E_u}{E_r}$. Arrows point from the text "Rendement (sans unité)" to the left side of the equation, and from "Energie utile (J)" and "Energie reçue (J)" to the terms E_u and E_r respectively.

$$\eta = \frac{E_u}{E_r}$$

Chaîne énergétique de conversion

Exemple : chaîne énergétique d'une centrale thermique



Une chaîne énergétique permet de résumer les différentes formes d'énergie mises en jeu lors de conversions opérées par un dispositif.

Transport de l'énergie électrique

Pertes par effet Joule

Une partie de l'énergie transportée par les câbles électrique est dissipée dans l'environnement sous forme de chaleur. Or, il existe un effet observable : quand un conducteur électrique est traversé par un courant électrique, il s'échauffe, c'est l'effet Joule.

Pour limiter ses pertes, il est nécessaire de transporter l'énergie électrique sous très haute tension.



Transport de l'énergie électrique

Puissance et énergie

Le réseau de distribution transporte l'énergie électrique dans des câbles où une partie de la puissance transportée est dissipée par effet Joule. Ces pertes dépendent de la résistance R du câble et de l'intensité du courant I qui y circule.

$$P = U \times I = R \times I^2$$

Pour calculer l'énergie électrique transportée pendant une durée t , on utilise la relation

$$E = P \times \Delta t$$

Mesure de l'énergie électrique

La consommation électrique d'un appareil en kwh

Puissance de l'appareil (en watt)	X	Durée de fonctionnement (en heures)
		1000

Exemple d'application 01

Les lampes des phares d'une automobile ont une puissance de 45 W chacune. Calculez l'énergie consommée par les deux lampes pour une durée de fonctionnement de trois heures. Exprimez ce résultat en Joule puis en kWh

Mesure de l'énergie électrique

Exemple d'application 01

Chaque lampe consomme une énergie de :

$E = P \times t$ avec E en Joules (J), P en Watts (W) et t en secondes (s).

3 heures = 3×3600 s = 10800 s

Donc chaque lampe consomme :

$$E = 45 \times 10800 = 486\,000 \text{ J}$$

Et donc les 2 lampes consomment : $486\,000 \times 2 = 972\,000 \text{ J}$

Pour convertir les Joules en Watts-heure : $3600 \text{ J} = 1 \text{ Wh}$

$$\text{Donc } 972\,000 \text{ J} = 972\,000 / 3600 = 270 \text{ Wh}$$

Et $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$

$$\text{Donc } 270 \text{ Wh} = 270 / 1000 = 0,270 \text{ kWh}$$

Mesure de l'énergie électrique

Exemple d'application 02

Un fer à repasser porte les indications suivantes : 230 V et 1000 W.

- 1- Calculer l'intensité de courant I qui le traverse.
- 2- Calculer l'énergie qu'il consomme en 2 h 30 min en Joules puis en kWh.

Mesure de l'énergie électrique

Exemple d'application 02

- Calcul de l'intensité du courant **I** qui traverse le fer à repasser

$$P = U \times I \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{1000}{230} = 4,34A$$

- Calcul de l'énergie **W** qu'il consomme en 2 h 30 min (en J et en kWh)

En joul

$$1h = 3600s \Rightarrow 2,5h = 2,5 \times 3600 = 9000s$$

D'où :

$$W = P \times t = 1000W \times 9000s = 9000000J = 9 \times 10^6 J = 9MJ$$

En KWh

$$W = P \times t = 1000W \times 2h30min, \text{ or } 30\text{min} \Leftrightarrow 0,5h \Rightarrow W = 1kW \times 2,5h = 2,5kWh$$

Comment produit-on l'énergie électrique ?

Une centrale électrique réalise une **chaîne énergétique**.

Une énergie « **Primaire** » subit une ou plusieurs conversions, pour finalement devenir de l'énergie électrique.

L'énergie électrique ne représente qu'une partie de l'énergie produite par la centrale. Une partie de **l'énergie primaire et mécanique** se transforme en **énergie thermique inexploitable**, donc perdue.

Comment produit-on l'énergie électrique ?

Une centrale électrique réalise une **chaîne énergétique**.

Une énergie « **Primaire** » subit une ou plusieurs conversions, pour finalement devenir de l'énergie électrique.

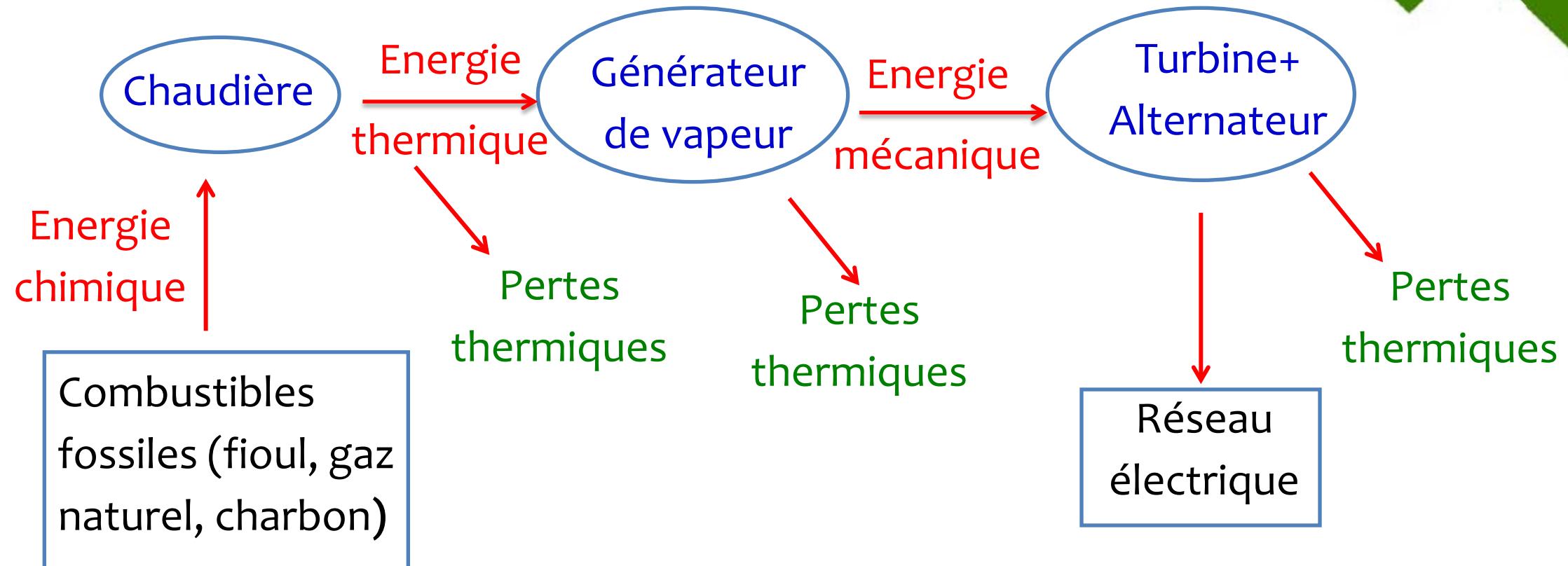
L'énergie électrique ne représente qu'une partie de l'énergie produite par la centrale. Une partie de **l'énergie primaire et mécanique** se transforme en **énergie thermique inexploitable**, donc perdue.

- Une centrale thermique produit de l'électricité à partir de la combustion du bois, mais également par d'autres combustions (charbon, fioul, gaz de ville) ou bien encore par réaction nucléaire.
- Les centrales thermiques classiques sont construites aux bords des fleuves ou de la mer pour avoir de l'eau froide en grande quantité pour alimenter le circuit de refroidissement.
- L'inconvénient principal des centrales thermiques est qu'elles représentent une source d'énergie polluante, puisqu'elles produisent une grande quantité de gaz à effet de serre

Pratiquement, les centrales thermiques sont les plus utilisées en Algérie pour produire de l'électricité. Le choix d'un système de production d'électricité dépend principalement de la disponibilité des ressources énergétiques. En Algérie, la majorité des centrales électriques utilise le gaz naturel comme énergie primaire.

A retenir !

Chaîne énergétique d'une centrale thermique



Un système de production électrique est constitué :

- d'une turbine
(production d'énergie mécanique)

- d'un alternateur
(transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique)

Le seul élément commun à tous les types de centrales électrique est l'alternateur

- Toute source de production d'énergie électrique qui injecte sa puissance dans le réseau de transport fait partie de la production centralisée

- Toute source de production d'énergie électrique qui est isolée ou qui injecte sa puissance dans le réseau de distribution fait partie de la production décentralisée.

Le transport d'électricité se fait dans des lignes à très haute tension :

- ✓ Pour diminuer l'énergie dissipée par l'effet joule
- ✓ Pour faire diminuer l'intensité du courant circulant dans les câbles