

République Algérienne Démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université Mohamed Khider Biskra

**Faculté : Sciences et Technologie**

**Spécialité : Electrotechnique**

**Enseignant : Dr. Fritah Abdallah**

**Département : L2 tronc commun**

**Semestre : 4**

**Année universitaire : 2019/2020**

---

*Cours*

*UED 2.2 : Production de l'énergie électrique*

---

## Chapitre 1 : Historique de la production d'électricité

### 1. Le développement de l'électromagnétisme :

**1820** : Oersted (Danois), remarque qu'une aiguille aimantée placée à côté d'un fil conducteur traversé par le courant est déviée. Dont les lois seront décrites par Ampère, Biot et Savart et Faraday pour être finalement mises en forme par Maxwell, dans les décennies suivantes.

**1885** : Galileo Ferraris, ingénieur italien, introduit le principe du champ tournant dans la construction des moteurs électriques.

### 2. Production de l'électricité:

**1878** : Thomas Edison, inventeur américain, fonde Edison Electric Light Corporation. à New York. En

**1879** : - Il présente sa première lampe électrique à incandescence (avec filaments de carbone) qui reste allumée 45 heures.

- Une centrale hydraulique de 7 kW est construite à Saint-Moritz.

**1882** : Edison inaugure les premières « usines électriques » (production de tensions continues) construites à Londres et New York (110 V, 30 kW). Première ligne de transport d'énergie électrique en Allemagne en courant continu : d'une longueur de 59 km elle alimente sous 2400V.

**Entre 1860 et 1890** : Des travaux d'un grand nombre de scientifiques (comme Nikola Tesla ou Lucien Gaulard) conduisirent à l'apparition des machines capables de produire de l'énergie électrique en grande quantité, ainsi qu'à la possibilité de la transporter sur de longues distances : on parle des machines à courant alternatif et le transformateur (éléments essentiels de la production et du transport électrique).

**1891** : Doliwo-Dobrowolski électricien russe, invente en 1889 le premier moteur asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil (construit industriellement à partir de 1891).

### 3. Développement des réseaux électriques :

**1891** : Allemagne : première installation de transmission de courant triphasé (15 kV, 40 Hz) sur une distance de 175 km.

**1923** : Une ligne aérienne à 220 kV est mise en service pour la première fois aux États-Unis.

**1930** : Une ligne aérienne à 220 kV est mise en service en Allemagne.

**1937** : Le premier turbo-alternateur refroidi à l'hydrogène est mis en service aux États-Unis (puissance de 100 MW).

**1952** : Première ligne 380 kV, en Suède de Harsprånget à Halsberg.

**1960** : Première ligne 525 kV en URSS, de Moscou à Volgograd.

**1965** : Première ligne 735 kV, au Canada de Montréal à Manicouagan.

### 4. L'électronucléaire :

**1955** : En Angleterre, mise en exploitation commerciale de la première centrale nucléaire (9MW) à Calder Hall.

## Chapitre 2 : Historique de l'évolution de la production de l'énergie électrique en Algérie

Dans sa politique énergétique, l'Algérie a opté, dès son indépendance, pour le développement des infrastructures électriques et gazières, et l'accès de la population à l'électricité et au gaz naturel via Sonelgaz. La Sonelgaz (Société nationale de l'électricité et du gaz): et une entreprise publique et outil de l'Etat, assume la mission de service public dans le domaine de la distribution de l'électricité et du gaz.

La promulgation de la loi n° 02-01 du 05 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations a permis la réorganisation de Sonelgaz, avec la création de la société holding « Sonelgaz » ainsi qu'une quarantaine de filiales et de sociétés en participation. Cette loi a également créé la commission de régulation de l'électricité et du gaz « CREG » installée en 2005, qui encadre et régule les activités du secteur de l'électricité et gaz.

### 1. Evolution de la puissance installée de production d'électricité en MW

	1980	1990	2006	2010	2016	2017
<i>SPE</i>	1 837	4 686	6 736	8 446	12 702	13 039
<i>SKTM</i>	-	-	-	-	1 007	1 133
<i>Autres producteurs</i>	-	-	1 170	3 036	5 412	5 414
<b>Total</b>	<b>1 837</b>	<b>4 686</b>	<b>7 906</b>	<b>11 482</b>	<b>19 121</b>	<b>19 586</b>

### 2. Evolution de la puissance installée par type d'équipement en GWh

	1980	1990	2000	2006	2010	2016	2017
<i>Thermique vapeur</i>	3 621	8 397	15 757	14 558	9 692	11 512	10 074
<i>Thermique gaz</i>	2 223	6 704	8 830	16 463	19 564	24 441	31 009
<i>Cycle combiné</i>	-	-	-	3 419	15 341	28 899	29 508
<i>Hydraulique</i>	251	135	54	218	173	72	71
<i>Diesel</i>	125	216	368	264	403	281	286
<i>Eolien</i>	-	-	-	-	-	19	21
<i>Photovoltaïque</i>	-	-	-	-	-	205	500
<b>Total</b>	<b>6 220</b>	<b>15 452</b>	<b>25 008</b>	<b>34 922</b>	<b>45 174</b>	<b>66 263</b>	<b>71470</b>

### 3. Evolution de la puissance maximale appelée (PMA)

Le PMA est la puissance maximale consommée dans l'année en Watt, avec prise en compte la variation de la température.

## Chapitre 2 : Historique de l'évolution de la production de l'énergie électrique en Algérie

	<i>1980</i>	<i>1990</i>	<i>2006</i>	<i>2010</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>
<i>RIN (MW)</i>	1088	2 742	6 057	7 718	12 839	14 182
			<i>2008</i>	<i>2010</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>
<i>PIAT (MW)</i>			106	149	149	149
			<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>
<i>RIS (MW)</i>			139.7	139.7	139.7	139.7

**Réseau interconnecté national « RIN » :** Le RIN s'étale sur le nord du pays et couvre aussi les régions de Béchar, Hassi Messaoud (Ouargla), Hassi R'Mel (Lagouat) et Ghardaïa, il est alimenté par une quarantaine de centrales de production d'électricité, reliées entre elles à travers un réseau de transport en 220 kV et 400 kV, permettant le transfert d'énergie des sites de production vers les centres de consommation.

**Pôle In Salah-Adrar- Timimoune « PIAT » :** Ce pôle est alimenté par les centrales Turbines à Gaz d'Adrar, In Salah (Tamanrasset), Zaouit Kounta (Adrar), Timimoun (Adrar), la ferme éolienne de Kabertene (Adrar), et les 7 centrales PV, interconnectées à travers un réseau 220 kV.

**Les Réseaux Isolés du Sud « RIS » :** Il se composé de 32 sites (29 sites conventionnels et 3 sites PV) du grand sud, alimentées par des réseaux locaux à travers des groupes diesel, des TG ou des centrales TV.

## Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique

### 1. Les sources d'énergie

Il existe deux catégories principales de sources d'énergie :

#### Les énergies renouvelables :

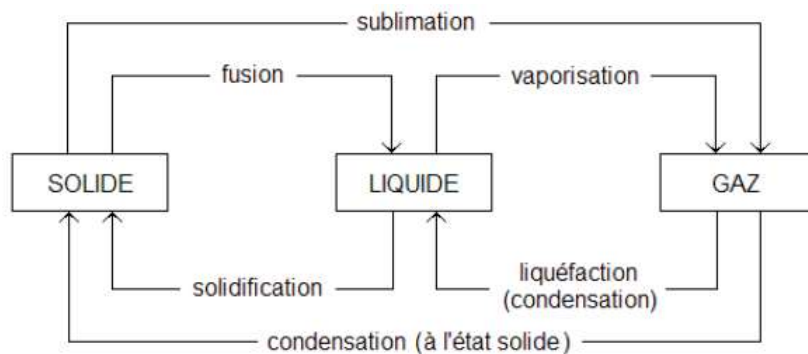
Ce sont des énergies produites à partir d'une source d'énergie que la nature renouvelle sans cesse. Ces ressources sont donc naturellement illimitées et non polluantes : le soleil, le vent, les fleuves, les matières organiques et les mers. Ces ressources représentent, respectivement, six grandes familles d'énergie : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, la biomasse, l'énergie géothermique et les énergies marines.

#### Les énergies fossiles :

Ce sont le pétrole, le gaz naturel et le charbon... autant de ressources épuisables dont l'utilisation massive participe à l'effet de serre. Ainsi que l'énergie nucléaire qui repose sur la combustion (fission) de l'uranium dont les réserves naturelles sont également limitées. Si son utilisation n'émet pas de CO<sub>2</sub>, elle n'est pas sans risque et la gestion des déchets qui en sont issus reste un défi.

### 2. Les différentes transformations de la matière :

La figure ci-contre montre les différentes transformations de la matière :



### 3. Qu'est-ce qu'une turbine

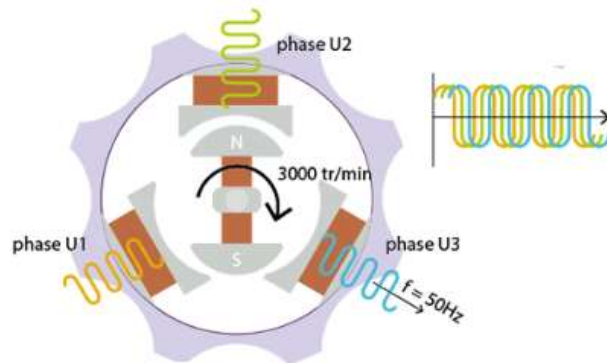
Une turbine est un dispositif rotatif constitué d'une série de rotors pales angulaires (aubes) montées sur un disque rotatif fixé à un arbre servant de buses et de guides pour l'écoulement du fluide. La turbine est utilisée pour utiliser l'énergie cinétique d'un fluide (vapeur, air chaud), pour faire tourner un arbre solidaire des pales. La turbine délivre un travail mécanique résultant de la diminution de la pression, c'est-à-dire que l'énergie potentielle du fluide sous forme de pression et température élevée est convertie en énergie mécanique. Ce qui correspond au fonctionnement opposé du compresseur.

### 4. Qu'est-ce qu'un Alternateur :

Un alternateur correspond à l'association d'une bobine et d'un aimant qui peut tourner. (A grande échelle, comme dans une centrale électrique l'aimant est remplacé par un électroaimant). Lorsque l'aimant tourne, ses pôles magnétiques sud et nord s'approchent puis s'éloignent successivement de la bobine provoquant ainsi l'apparition d'une tension aux bornes de cette dernière (loi de Faraday). La bobine

## Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique

joue alors le rôle de générateur électrique. Lorsque l'aimant d'un alternateur (ou son électroaimant) est mis en rotation celui-ci possède une énergie cinétique qui est convertie en énergie électrique.



### 5. Les centrales thermiques:

Il existe 3 types de centrales thermiques, selon le type de turbine utilisé :

#### 5.1. Centrales à Vapeur (TAV):

Appelées également centrales thermiques à flamme. Avec charbon ou gaz, la flamme de la chaudière est brûlée, et en suite elle chauffe l'eau située dans des tubes qui tapissent les parois de la chaudière. La chaleur transforme ainsi l'eau en vapeur, qui actionne la turbine, qui elle-même entraîne l'alternateur. La centrale produit alors de l'électricité. Ensuite la vapeur est refroidie en eau, puis repart vers la chaudière pour un nouveau cycle.

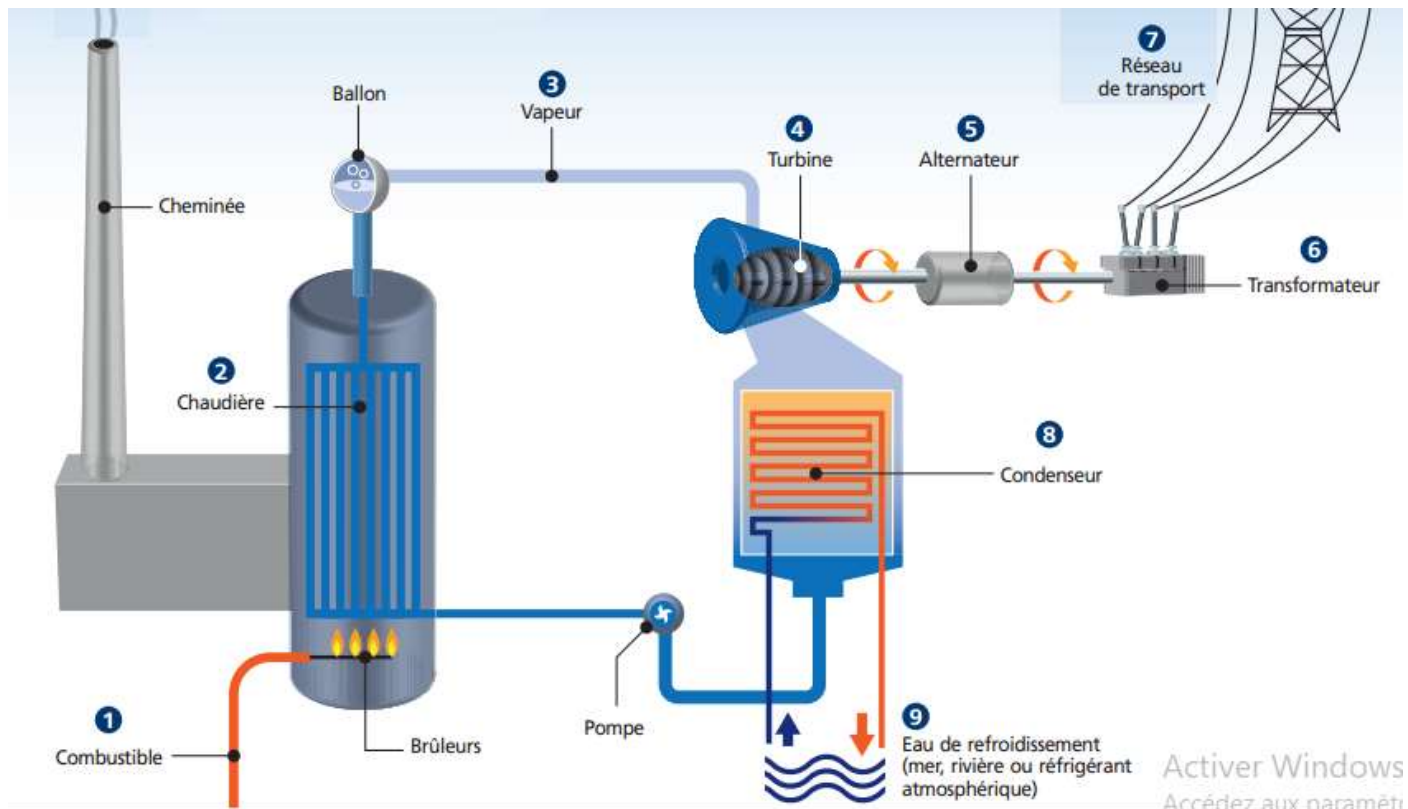


Fig.1 : Schéma de principe d'une centrale thermique à vapeur.

## Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique

### 5.2. Centrales à gaz (TAG):

Elle est occupée par une turbine à combustion (TAC), est souvent appelée moteur à réaction ou turboréacteur. Elle fonctionne sur le principe d'un gros réacteur d'avion.

La turbine à gaz, contrairement à la turbine à vapeur, comprend plusieurs composants : un compresseur, la chambre de combustion et de la turbine, qui sont assemblés le long d'un arbre en rotation pour effectuer différentes tâches d'un moteur à combustion interne.

L'air est d'abord comprimé à l'aide d'un compresseur, dans lequel le gaz perd sa vitesse, mais augmente encore la température et la pression. Dans l'étape suivante, l'air comprimé entre dans la chambre de combustion où un carburant est mélangé avec le gaz et s'enflamme. À la suite de la combustion, la température et la pression de l'air atteignent un niveau incroyablement élevé. Ce gaz traverse ensuite la section de la turbine et lorsqu'il passe, il produit un mouvement de rotation vers l'arbre. Celle-ci entraîne l'alternateur qui produit l'électricité

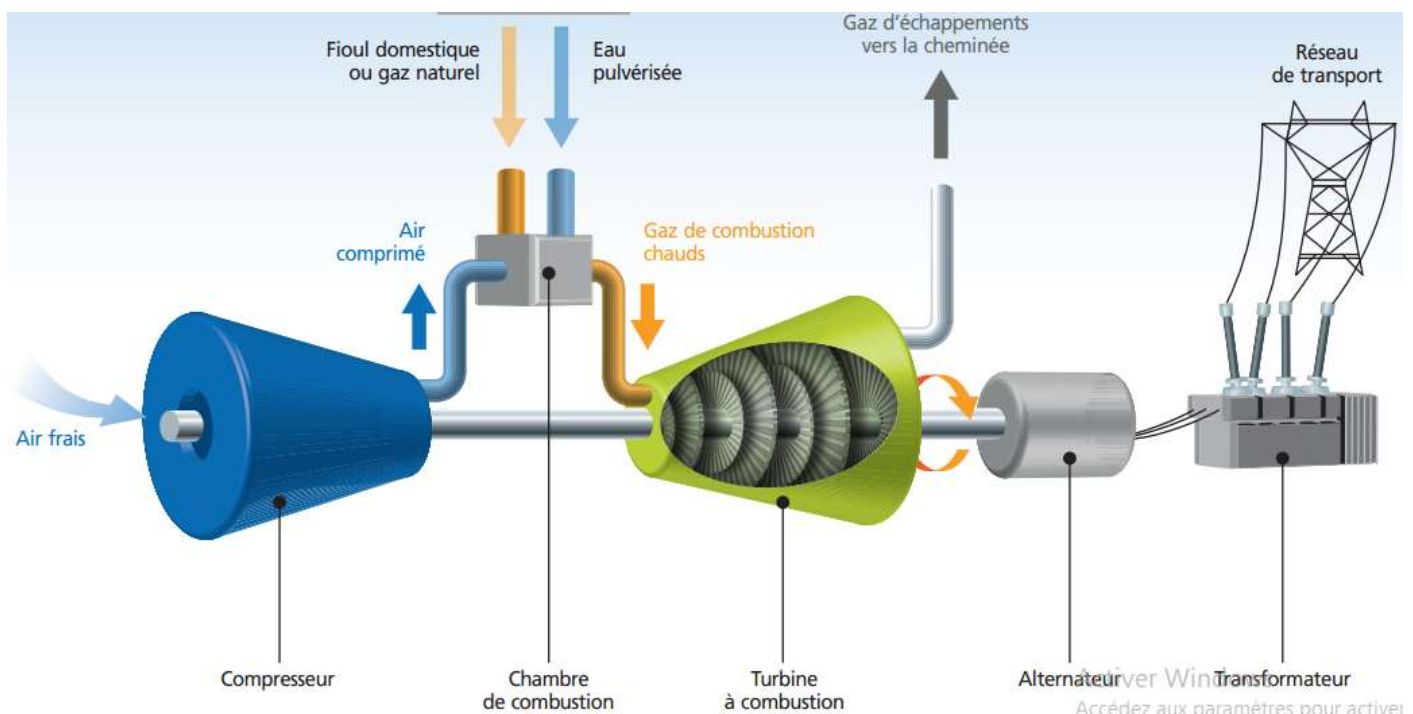


Fig.2 : Schéma de principe d'une centrale thermique à gaz.

### 5.3. Centrales à gaz à cycle combiné (TGV) :

Ou centrale Turbine Gaz Vapeur, elles combinent une turbine à gaz et une centrale thermique classique pour produire de l'électricité. À la différence des centrales thermiques classiques, l'énergie restant de gaz (air chaud) est utilisée pour un autre cycle. C'est une des raisons pour lesquelles le rendement de ces centrales est plus important, limitant ainsi les émissions de CO<sub>2</sub> par rapport aux centrales classiques.

L'air chaud qui sortit de la turbine à combustion est récupérée dans une chaudière, où il va faire évaporer l'eau qui circule dans les tubes de chaudière. La vapeur est alors envoyée vers la turbine à vapeur. Turbine à combustion et turbine à vapeur fonctionnent alors en duo pour faire tourner deux alternateurs.

## Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique

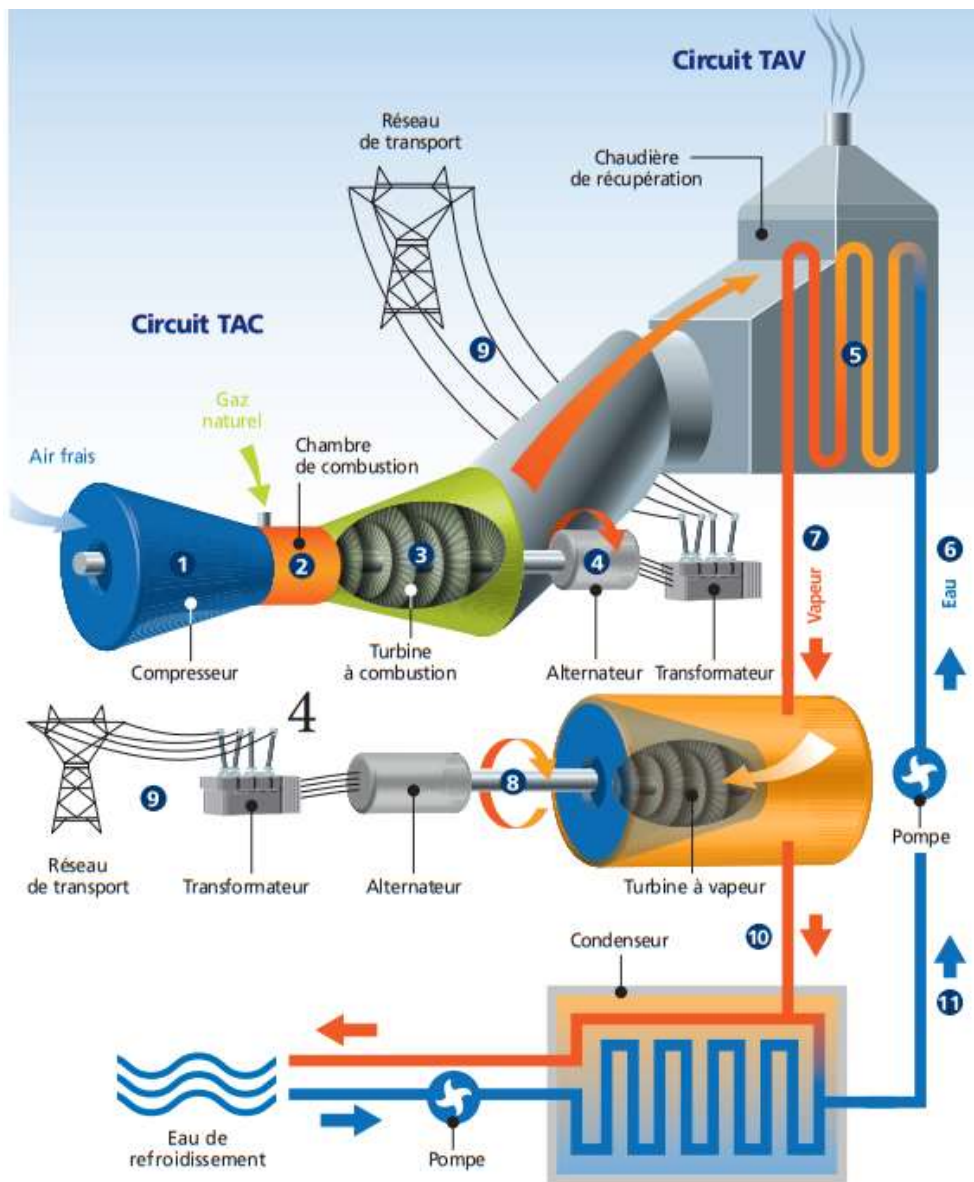


Fig.3 : Schéma de principe d'une centrale thermique à gaz vapeur (TGV).

### Comparaison entre une TAV et TAG :

- Le rendement d'un TAG est beaucoup plus élevé que celui de la TAV en raison des températures de fonctionnement plus élevées des TAG. (TAG ~ 1500 0°C, TAV~ 550 0°C).
- L'espace requis pour les TAG est bien inférieur au à celle d'une TAV.
- Les turbines à gaz sont plus polyvalentes, car de nombreux carburants peuvent être utilisés. Les turbines à vapeur, en revanche, nécessitent de grandes quantités d'eau.

### 6. Les centrales hydrauliques:

Une centrale hydroélectrique peut se définir comme une installation qui transforme l'énergie hydraulique d'un cours d'eau ou une retenue d'eau en énergie électrique. Une centrale hydroélectrique est composée de quatre éléments essentiels: Ouvrages de prise d'eau. Ouvrages d'amenée et de mise en charge. Équipements de production. Ouvrages de restitution



## Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique

**Ouvrage de prise d'eau :** La forme et les dimensions de cet ouvrage sont adaptées à la nature du terrain. La prise d'eau peut également être installée sur un canal d'irrigation ou sur une adduction d'eau potable

**Ouvrages d'amenée et de mise en charge :** Le canal est muni d'une grille qui retient les corps solides charriés par le cours d'eau. Un système de vannes répond à différentes utilisations: protection contre les crues, isolement du canal, isolation de la turbine, etc.

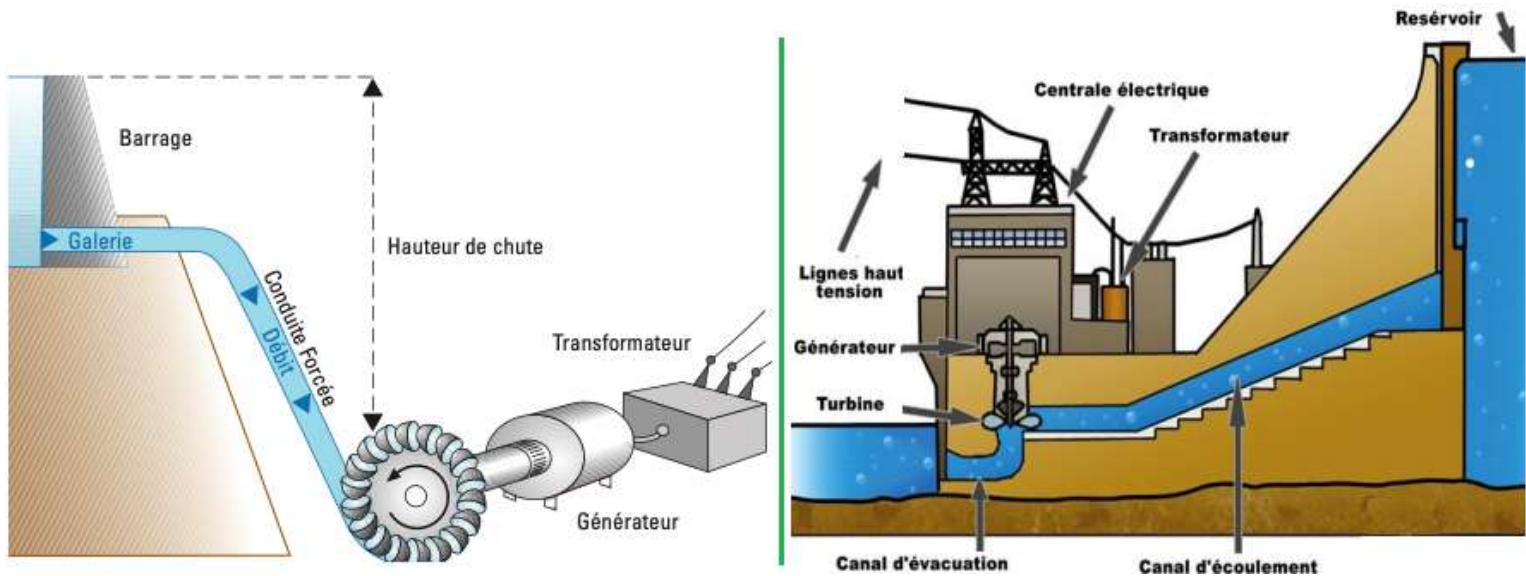


Fig.4 : Schéma de principe d'une centrale hydraulique.

**Les équipements de production :** Une turbine. Un alternateur produit l'énergie électrique.

**Les ouvrages de restitution :** A la sortie de la centrale, l'es eaux turbinées sont renvoyées dans la rivière par un canal de fuite (à l'air, soit en passage couvert dans le cas où la centrale est souterraine).

### 7. Les centrales éoliennes:

Une éolienne produit de l'électricité grâce au vent qui met en mouvement l'hélice (3 pales), permettant sa transformation en énergie mécanique. La vitesse de rotation de l'arbre entraîné par le mouvement d'hélice est accélérée par un multiplicateur. Cette énergie mécanique est ensuite transmise à l'alternateur.

Un transformateur situé à l'intérieur du mât élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur, pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau électrique.

Un central éolien est constitué de plusieurs éoliennes espacées de plusieurs centaines de mètres et connectées entre elles par un réseau interne souterrain et raccordées au réseau public par l'intermédiaire d'un poste de livraison.

Pour pouvoir démarrer, une éolienne nécessite une vitesse de vent minimale d'environ 10 à 15 km/h. Pour des questions de sécurité, l'éolienne s'arrête automatiquement de fonctionner lorsque le vent dépasse 90 km/h. La vitesse optimale est de 50 km/h.

Une éolienne est généralement constituée de :

## Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique

### Le mât :

Généralement en métal, supporte l'ensemble des équipements permettant de produire l'électricité (nacelle + rotor). Il est fixé sur une fondation implantée dans le sol, une lourde semelle en béton qui assure l'ancrage et la stabilité de l'éolienne. Le mât des éoliennes atteint aujourd'hui 120 m de haut pour les plus puissantes. L'intérieur du mât abrite les câbles de commande et de connexion du courant, un système d'escalier pour accéder au nacelle, voire même un ascenseur pour les plus grandes éoliennes. Au pied du mât se trouve un transformateur qui convertit le courant produit par turbine dans la tension compatible avec celle du réseau.

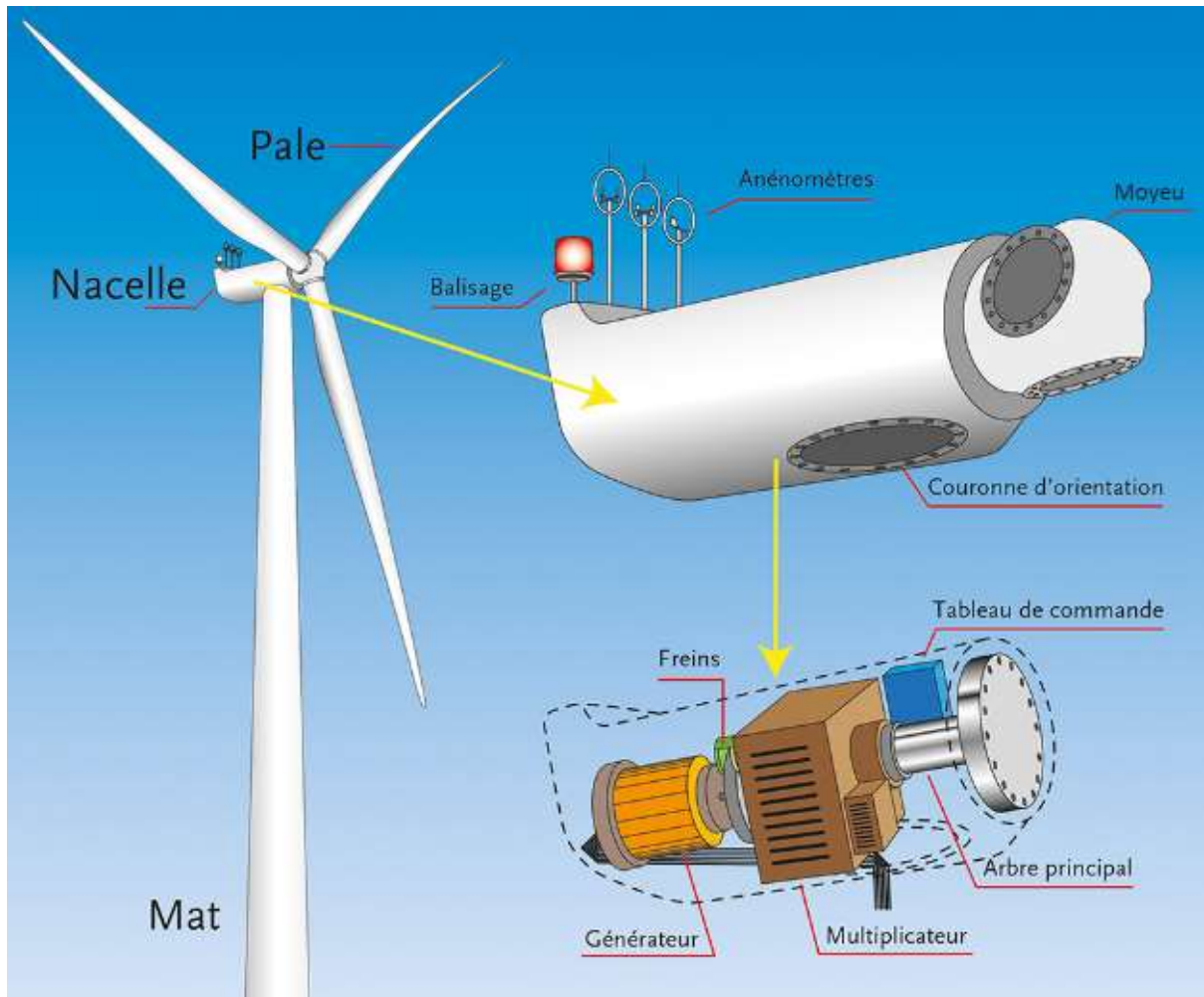


Fig.5 : Schéma de principe d'une éolienne.

### Nacelle :

Est le cœur vital de l'éolienne, qui supporte le rotor et tout le système mécanique et électrique nécessaire au bon fonctionnement de l'éolienne. Les éléments qui la constituent sont :

- Le multiplicateur de vitesse : il est composé d'une série d'engrenages pour but d'élever la vitesse de rotation entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire qui entraîne l'alternateur. Il augmente le rapport vitesse/couple, donc si le contraire de réducteur.
- L'arbre secondaire : comporte généralement un frein mécanique qui permet d'immobiliser le rotor au cours des opérations de maintenance et d'éviter l'emballement de la machine.
- L'alternateur : c'est elle qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.

### Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique

- Un contrôleur électronique : chargé de surveiller le fonctionnement de l'éolienne (démarrage, le freinage, l'orientation de l'ensemble rotor + nacelle face au vent de manière à maximiser la récupération d'énergie, l'arrière de la nacelle pour la maintenance).
- Rotor : Est l'équivalent de la turbine dans les autres centraux. Composé d'hélice (3 pales), nez de l'éolienne (moyeu) et l'arbre primaire. La longueur des pales sont atteinte actuellement entre 30-55 m, soit un diamètre du rotor compris entre 60-110 m
- Anémomètre : est un instrument qui permet de mesurer la vitesse ou la pression du vent.

#### 7.1. Puissance d'une éolienne :

L'énergie cinétique du vent s'exprime comme:  $E_c = \frac{1}{2} M V$ , où M est la masse du vent et V sa vitesse.

La puissance disponible du vent qui traverse la surface balayée par les pales d'une éolienne vaut :

$P_d = A \rho V$ . Où A est la surface balayée par les pales.  $\rho$  la masse volumique de l'air ( $1.25 \text{ m}^3/\text{s}$ ). V sa vitesse. Donc la puissance du vent égale :  $P_{vent} = \frac{1}{2} A \rho V^3$

La puissance récupérable par l'éolienne  $P_{éolienne}$  peuvent s'exprimer en fonction du coefficient de puissance  $C_p$  (16/27).  $P_{éolienne} = P_{vent} C_p \Rightarrow$

$$P_{éolienne} = 0.3 \times A \times \rho \times V^3 \text{ (watt)}$$

#### 8. Les Central solaire :

La Figure ci-dessous donne un aperçu d'une centrale électrique solaire photovoltaïque raccordée au réseau.

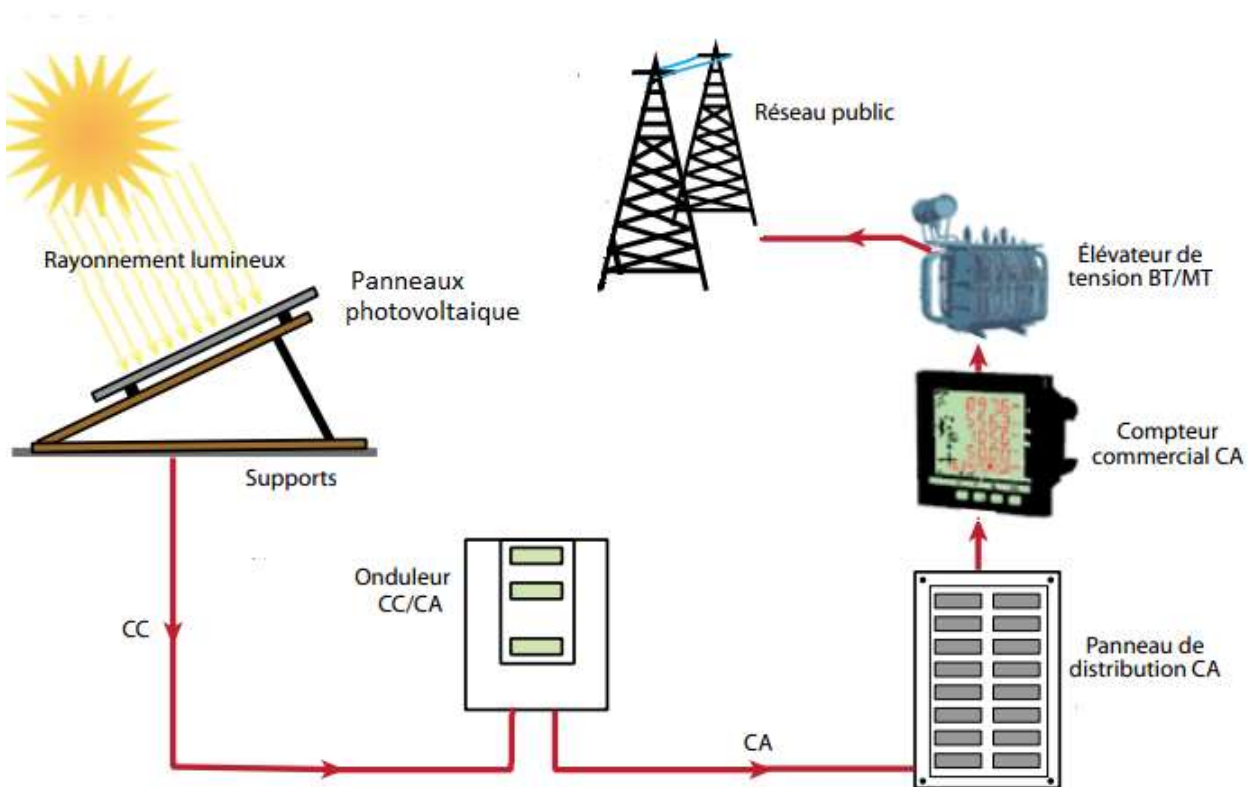


Fig.6 : Schéma de principe d'un central Photovoltaïque.

## Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique

Les principales composantes sont :

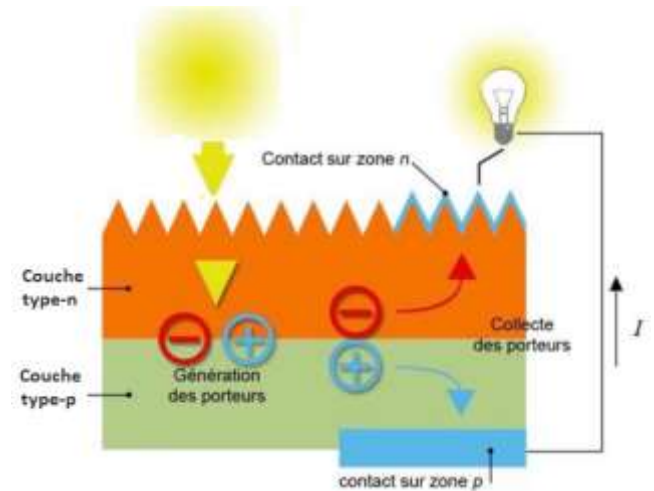
### 8.1. Cellule photovoltaïque :

Avec une explication simplifiée on dit : la cellule solaire se compose de deux couches très minces de matériau semi-conducteur (plus souvent : Si). Chaque couche est couverte par un conducteur dit "contact".

L'une des couches dites "Type-n". Elle possède un certain nombre des électrons ( $\sim 10^{18}$ ) qui peuvent se libérer, si le semi-conducteur reçoit l'énergie du soleil.

L'autre couche dite "Type-p". Elle possède un certain nombre des trous ( $\sim 10^{16}$ ) qui permet aux électrons de le traverser, si le semi-conducteur reçoit l'énergie de soleil.

Lorsque le circuit extérieur est branché : les électrons libres dans la couche type-n commencent à se déplacer. Après avoir atteint le contact métallique, ils doivent passer par le circuit extérieur, en suite par la couche type-p pour, afin de revenir à leur place initial. Ce qui engendre un courant. Le courant se déplace dans le sens opposé au mouvement des électrons.



### 8.2. Module photovoltaïque :

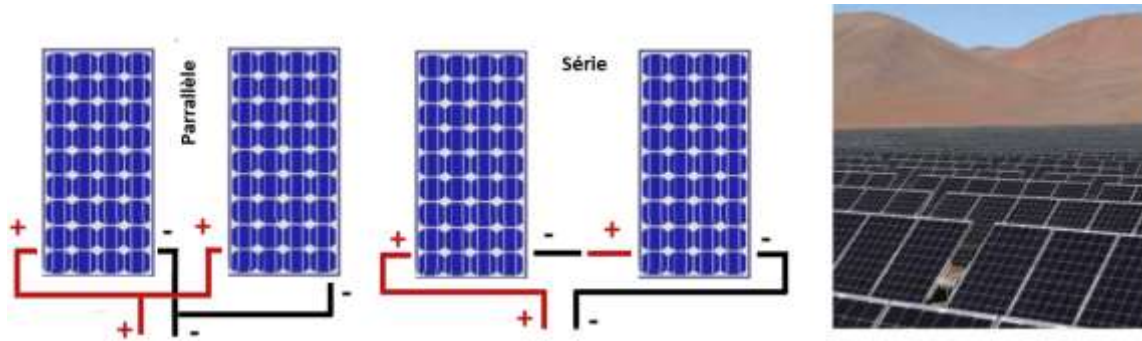
Lorsque l'ensoleillement est maximum ( $1000 \text{ w/m}^2$ ), une cellule solaire d'une surface de  $225 \text{ cm}^2$  ( $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ ) génère une puissance d'environ  $4.2 \text{ W}$  pour une tension ( $0.5\text{-}0.7 \text{ V}$ ) et un courant ( $6\text{-}8 \text{ A}$ ). Pour augmenter la tension et la puissance, on assemble donc un certain nombre de cellules en série. Les modules photovoltaïques sont constitués de 36 à 72 cellules. Le courant reste le même, mais la tension sera multipliée par le nombre de cellule. Donc la tension d'un panneau solaire constitué de 72 cellules de  $0.6 \text{ V}$  égale à  $43.2 \text{ V}$ .



### 8.3. Panneau photovoltaïque :

Pour que l'électricité générée soit utilisable pour nos applications électriques, il est donc nécessaire d'associer un grand nombre de modules entre elles en série pour augmenter la tension et en parallèle pour augmenter le courant.

## Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique



### 8.4. Onduleur :

Les onduleurs sont requis pour convertir l'électricité CC en courant alternatif (CA) en vue du raccordement au réseau. Un grand nombre de modules en série et en parallèle est raccordé aux onduleurs.

### 8.5. Systèmes de fixation :

Ces systèmes permettent aux modules PV d'être correctement fixés au sol à un angle d'inclinaison fixe ou sur des cadres permettant la poursuite solaire.

### 8.6. Panneau de distribution :

Une sous-station disposera également du : Commutateurs d'interface de raccordement au réseau et de protection, comme des disjoncteurs, contacteur et relais thermique. Régulateur de tension. Des systèmes de mesure. Il peut aussi avoir une batterie.

### 8.7. Compteur :

Pour suivre la production de l'installation.

### 8.8. Transformateurs élévateurs :

La puissance générée par les onduleurs nécessite généralement une élévation supplémentaire de la tension pour atteindre la tension requise pour le réseau (par exemple 25 KV ou 110 KV, en fonction du point de raccordement au réseau et des normes nationales).

**Remarque :** Tous les composants d'une central photovoltaïque mentionnés ci-dessus (8.4-8.8), sauf les panneaux photovoltaïque constitué le **B.O.C** (Balance of System).

## 9. Pile à combustible :

### 9.1. Un combustible :

Tout produit chimique qui peut réagir avec autre produit de sorte qu'il libère de l'énergie sous forme de chaleur.

### 9.2. Principe de fonctionnement :

Les piles à combustible convertissent directement en électricité l'énergie chimique d'un combustible (sans combustion). Elle ne rejette aucun élément polluant, ce qui en fait un allié précieux dans la lutte contre le réchauffement climatique.

La partie centrale d'une pile à combustible est une **membrane électrolytique** (permettre le passage des protons et bloque les électrons) avec :

### Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique

Sur la première face une anode (électrode négative repoussant les électrons). Et sur la deuxième face une cathode (électrode positive attirant les électrons).

Le processus qui permet la production de l'énergie électrique se passe quand le **dihydrogène (le combustible)**, de l'anode vers la cathode.

1. Le dihydrogène fourni à la pile pénètre dans celle-ci par la face anodique, où une couche de platine favorise la décomposition du dihydrogène en électrons et en protons.

Réaction de d'oxydation :  $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

2. La membrane électrolytique laisse passer les protons ( $2H^+$ ), mais s'oppose au passage des électrons, qui sont captés par l'électrode et injectés dans le circuit électrique afin de fournir le courant électrique.

3. L'oxygène, transitant vers la cathode, y rencontre une autre couche de platine qui provoque la combinaison du dioxygène avec des électrons, fournissant de l'eau et de la chaleur.

Réaction de réduction :  $4H^+ + 2e^- + O_2 \rightarrow 2H_2O$

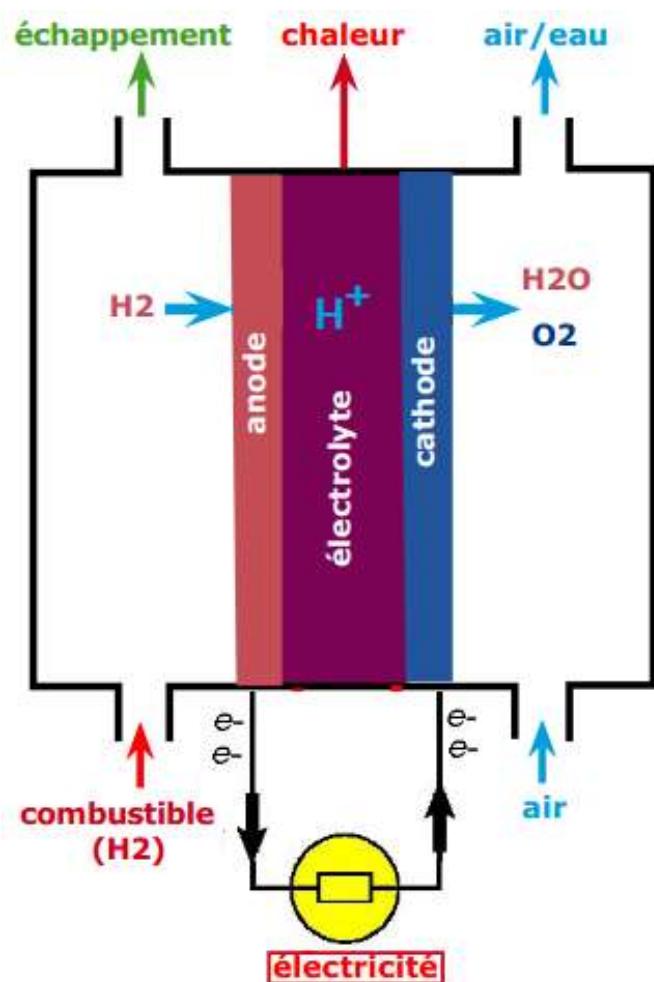


Fig.7 : Schéma de principe d'une pile à combustible de dihydrogène (PEMFC).

## Chapitre 3 : Les sources d'énergie électrique

### 9.3. Types de piles :

1. PEMFC (proton exchange membrane fuel cells), possèdent un électrolyte qui est une membrane polymère.
2. MCFC (molten carbonate fuel cells), possèdent du carbonate de lithium fondu comme électrolyte.
3. SOFC (solid oxide fuel cells), possèdent une céramique (normalement de l'oxyde de zirconium) comme électrolyte.
4. PAFC (phosphoric acid fuel cells), possèdent un électrolyte à base d'acide phosphorique
5. RFC (reverse fuel cell), produisent de l'électricité à partir de dihydrogène et de dioxygène et génèrent de la chaleur et de l'eau comme les autres piles à combustible. Cependant, les systèmes de piles à combustible réversibles peuvent également utiliser l'électricité provenant de l'énergie solaire, de l'énergie éolienne ou d'autres sources pour diviser l'eau en dioxygène et en dihydrogène via un processus appelé électrolyse. Les piles à combustible réversibles peuvent stocker l'excès d'énergie sous forme d'hydrogène.

