

**UNIVERSITÉ ABOU BAKR BELKAÏD, TLEMCEEN
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GENIE INDUSTRIEL**

Matière : Energies et Environnement

Chapitre 2 : Les énergies renouvelables

**Cours destiné aux :
Etudiants du L2 Genie Industriel**

**Responsable de la matière :
Dr H.KADRAOUI**



Plan de cours

- Introduction
- Différentes types de l'énergie renouvelable
- Energie hydraulique
- Energie solaire
- Energie éolienne
- Energie géothermique
- Energie de la biomasse
- A retenir
- Quiz ?



- Les énergies renouvelables sont des énergies « **inépuisables** ». Elles proviennent du **soleil**, **du vent**, de la **chaleur de la Terre**, des **chutes d'eau**, **des marées** ou encore de la **de la biomasse**, leur exploitation n'engendre pas ou **peu de déchets et d'émissions polluantes**. Ce sont les énergies de l'avenir. Aujourd'hui, elles sont sous-exploitées par rapport à leur potentiel. Ainsi, les énergies renouvelables couvrent **seulement 20 % de la consommation mondiale d'électricité**.
- Ce chapitre présente les différentes filières des énergies renouvelables et leur développement. Nous y présenterons les avantages et inconvénients des solutions retenues.

Différentes types de l'énergie renouvelable

Energie solaire



Energie hydraulique



Energie éolienne



Energie géothermique



Energie de la biomasse

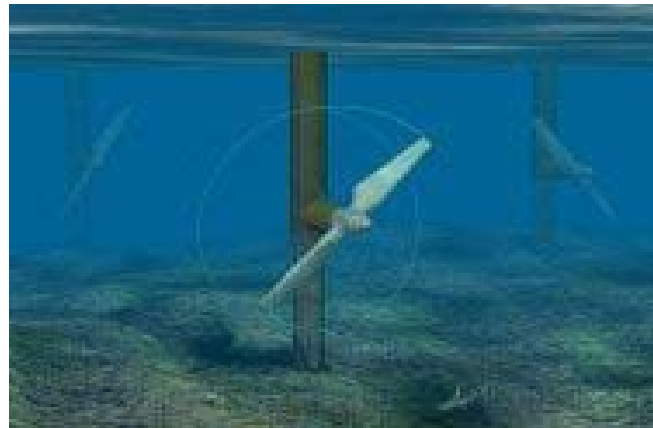


L'énergie hydraulique

- L'énergie hydraulique est une énergie renouvelable, issue de **la force motrice de l'eau**. Plusieurs technologies permettent d'exploiter l'énergie produite par la chute ou le mouvement de l'eau. **Les roues à aubes** peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), **tandis que les turbines et les centrales hydroélectriques la transforment en électricité.**



Marémotrice



Hydrolienne



Barrage

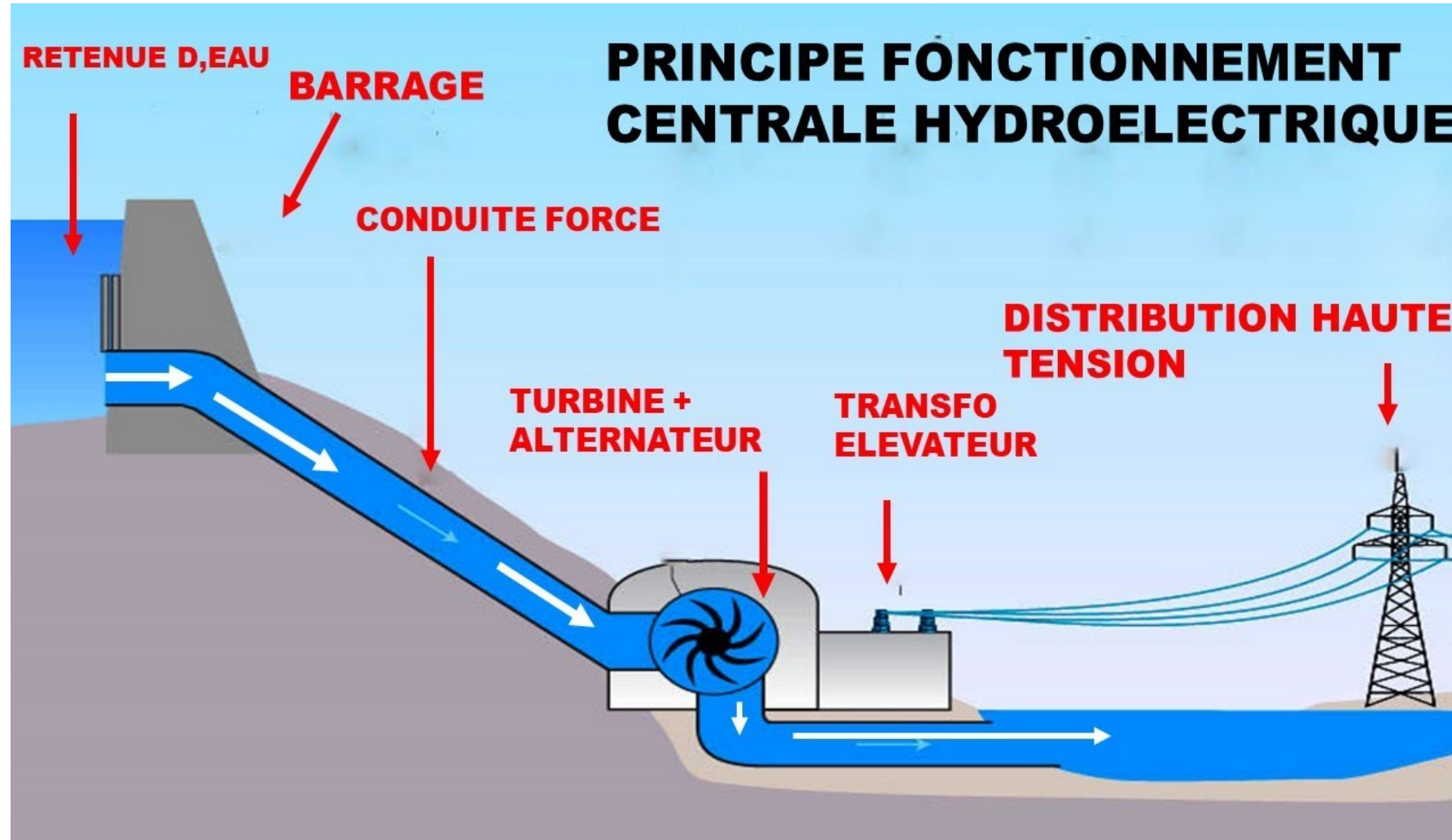
L'énergie hydraulique

Principe de fonctionnement

- Une centrale hydraulique est composée de **03 parties** : **le barrage** qui retient l'eau, **la centrale** qui produit l'électricité et les **lignes électriques** qui évacuent et transportent l'énergie électrique.
- L'énergie hydraulique s'obtient par l'exploitation de l'eau via les courants marins et les barrages. Les mouvements de l'eau actionnent les turbines qui ainsi produisent de l'énergie. Plus la pression de l'eau sera forte, plus la production d'énergie sera importante.

L'énergie hydraulique tient compte le type de la turbine hydraulique

L'énergie hydraulique



- L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est à l'origine de la quasi-totalité des sources d'énergies utilisées par l'homme. Les principales caractéristiques de l'énergie solaire sont sa gratuité, sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence de risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile.
- L'énergie solaire comprend 03 filières :
 - ✓ L'énergie solaire photovoltaïque
 - ✓ L'énergie solaire thermique
 - ✓ L'énergie solaire mécanique ou thermodynamique

✓ L'énergie solaire photovoltaïque

- L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec **une cellule photovoltaïque**.
- Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment **un panneau solaire (ou module) photovoltaïque**.
- Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés **champ photovoltaïque**.
- Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique - **l'effet photovoltaïque** - ou la technologie associée.



Histoire de l'effet photovoltaïque

1839 : effet photovoltaïque découvert par Edmond Becquerel

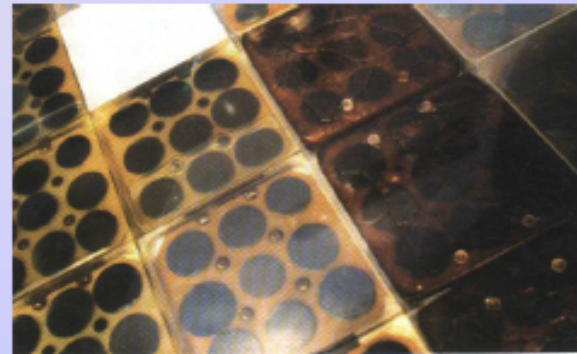
1877 : première cellule PV au sélénium

1922 : Einstein obtient le prix Nobel de physique pour ses travaux sur l'effet photo-électrique

1954 : premières cellules PV au silicium (rendement 4,5 % à 6%)

1955 : première commercialisation
de cellules PV 14 mW.

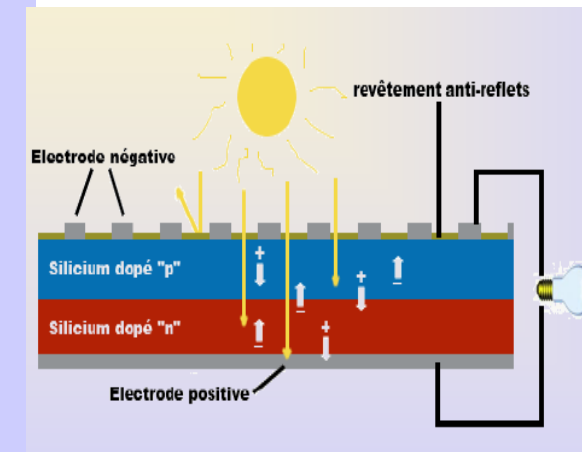
1958 : satellite avec cellules PV



L'énergie solaire

Principe de fonctionnement

- La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur **qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique.**
- Les rayons lumineux percutent les cellules photovoltaïques constituées de matériau **semi-conducteur (en général le silicium)**. La lumière crée un déplacement d'électron dans le matériau et donc la production d'un courant électrique. L'électricité est alors directement utilisée pour des **besoins domestiques, stockée dans des batteries ou injectée sur le réseau électrique de distribution public.**



Différentes technologie de cellules

1ère génération (90%) : silicium cristallin

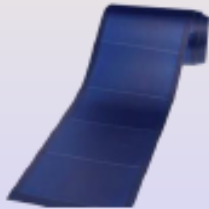
Mono c-Si : silicium monocristallin

Poly c-Si : Silicium polycristallin

Ribbon c-Si : Silicium cristallin en ruban



2ème génération (10%) : couches minces



a-Si : Silicium Amorphe

CdTe : Tellure de Cadmium

CIS, CIGS : Cuivre Indium/Gallium diselenide/disulphide

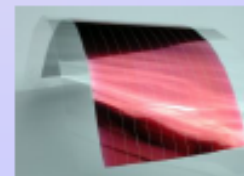
a-Si/mono c-Si : Cellules mixtes (ou tandem)

3ème génération : nouvelles technologies



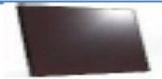


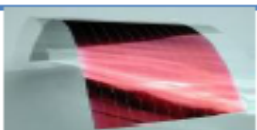
Cellules à concentration

Cellules organiques

Nanomatériaux



L'énergie solaire

Type de cellule	Rendement	Avantage	Inconvénient	Image
Silicium monocristalline	13-18%	Bon rendement pour une cellule	Cout de fabrication élevé, perte de matière en cours de fabrication	
Silicium poly-cristallin	11-15%	Bon rendement pour un module	Cout de fabrication élevé, perte de matière en cours de fabrication	
Silicium amorphe	5-9%	Facile à fabriquer	Mauvais rendement	
CdTe	7-11%	Absorbe 90% des photons incidents	Cadmium très polluant	
CIGS	20%	Energie de gap ajustable, 99% des photons absorbés	Manque de matière première	
Cellules organiques	$\leq 5\%$	Faible cout de fabrication, flexible	Rendement encore trop bas	

Le rendement d'un panneau solaire correspond au rapport entre l'énergie électrique produite par le panneau et l'énergie solaire reçue sur sa surface.

✓ L'énergie solaire thermique

- Les panneaux solaires thermiques se présentent sous la forme de capteurs qui absorbent l'énergie solaire, pour la restituer sous forme de chaleur. Cette chaleur est ensuite transmise à un liquide ou un gaz (fluide caloporteur qui la transporte vers un réservoir de stockage d'énergie.
- L'énergie solaire thermique est utilisée principalement pour le chauffage de l'eau (sanitaire ou piscines) ou des locaux. En Europe, l'eau chaude solaire représente 90 % du marché du solaire thermique.

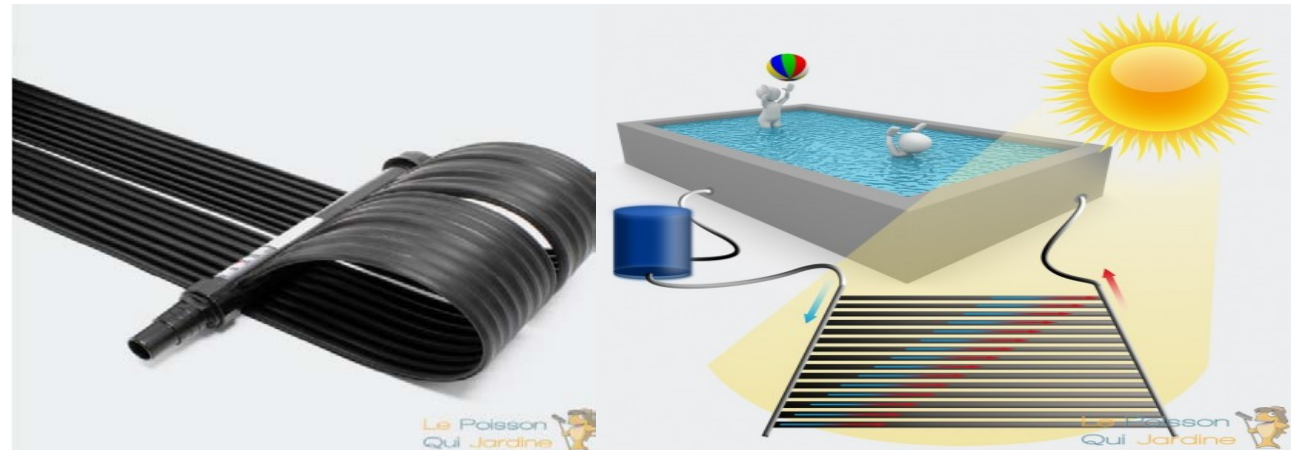
L'énergie solaire

✓ L'énergie solaire thermique

Les différents types de capteurs solaires thermiques

Ce sont utilisés, généralement pour la production de chauffage et d'ECS.

- **CAPTEUR PLAN VITRÉ**
- **CAPTEUR NON VITRÉ (Capteur "Moquette")**



- **CAPTEUR à TUBES SOUS VIDE**



L'énergie solaire

✓ L'énergie solaire thermique

Les différentes applications

- Eau chaude sanitaire
- Chauffage de piscine
- Chauffage et climatisation



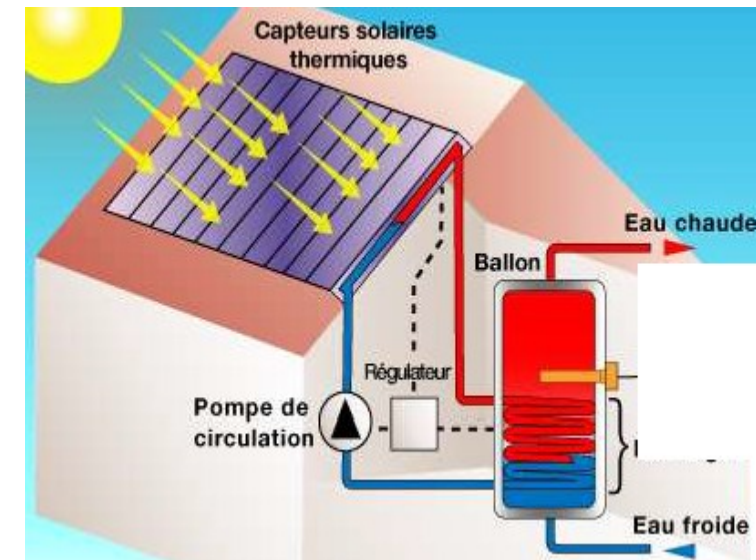
L'énergie solaire

✓ L'énergie solaire thermique

Les différentes applications

Les panneaux solaires thermiques s'utilisent pour satisfaire **deux besoins différents** :

- le chauffage de l'eau sanitaire (Chauffe-Eau Solaire Individuel) : la pose de 3,5 à 4,5 m² de capteurs solaires permet d'apporter 80% des besoins en eau chaude sanitaire d'une famille de 2 à 4 personnes.
- le chauffage de l'eau sanitaire couplé à une production de chaleur pour le système de chauffage existant (Système Solaire Combiné) : pour compléter votre mode de chauffage traditionnel avec le solaire, entre 8 et 15 m² de panneaux sont nécessaires selon le logement et l'exposition solaire de l'habitation.

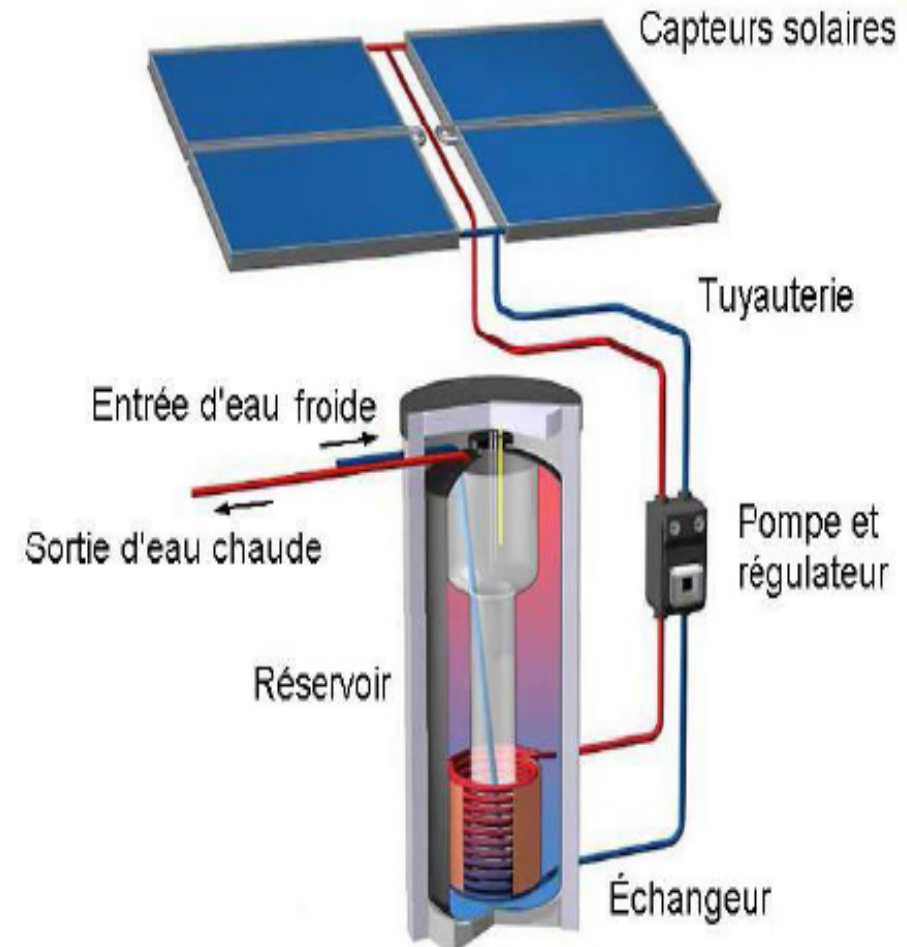


L'énergie solaire

✓ L'énergie solaire thermique

Les composants d'un Système chauffe-eau solaire

- Il est généralement composé des éléments suivants : les capteurs solaires, la tuyauterie isolée, le réservoir de stockage d'eau chaude avec échangeur de chaleur, la pompe et le régulateur.
- Les capteurs, qui absorbent l'énergie du rayonnement solaire sont souvent installés sur les toits, les murs ou sur un support.



✓ L'énergie solaire thermodynamique

- Le solaire thermodynamique consiste à utiliser la chaleur du rayonnement solaire pour créer de l'énergie mécanique puis électrique. La concentration optique des rayons du soleil permet d'obtenir de très hautes températures. Selon les différentes technologies de captage, la chaleur produite est généralement comprise entre 400°C et 1 000°C.
- Il existe 3 types de centrales solaires thermodynamiques, en fonction de la méthode de focalisation des rayons solaires :
 - ❖ Les centrales à collecteurs cylindriques
 - ❖ Les centrales à tour
 - ❖ Les centrales à collecteurs paraboliques

L'énergie solaire

✓ L'énergie solaire thermodynamique

✓ Les centrales à collecteurs cylindriques

Longs miroirs tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil. Les rayons sont concentrés sur un tube dans lequel circule le fluide qui servira à transporter la chaleur vers la centrale.



✓ Les centrales à tour

Un champ de miroirs orientables situés au sol renvoient les rayons solaires sur une chaudière située en haut d'une tour.



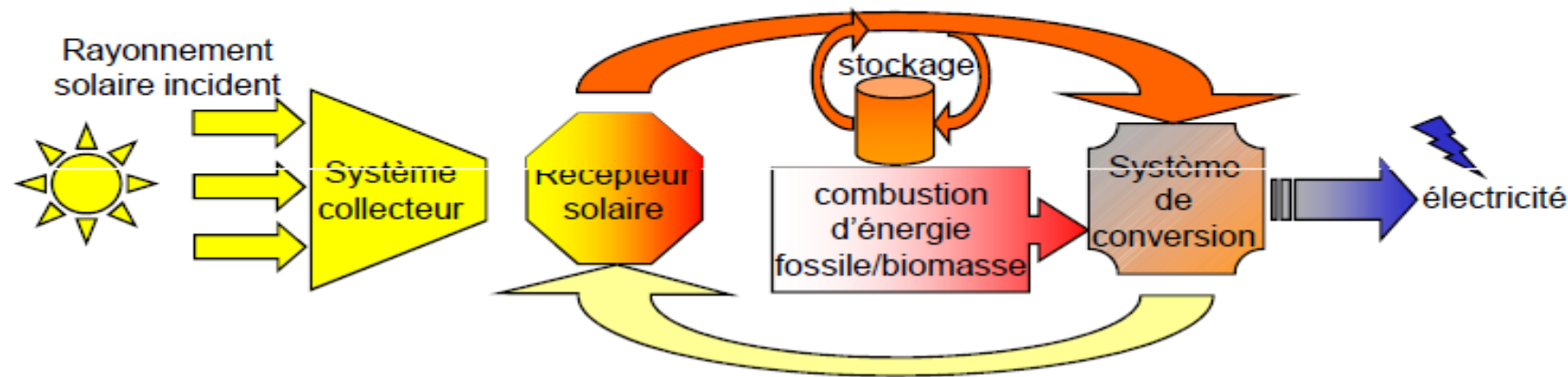
✓ Les centrales à collecteurs paraboliques

Le rayonnement solaire est concentré sur la focale de paraboles orientables dans lesquelles se trouve des mini-centrales électriques.



✓ L'énergie solaire thermodynamique

Principe d'une centrale solaire thermodynamique



- Des miroirs captent le rayonnement solaire en un point de façon à générer des températures très élevées (de 400 à 1 000 °C).
- La chaleur obtenue transforme de l'eau en vapeur d'eau dans une chaudière.
- La vapeur sous pression fait tourner une turbine qui entraîne un alternateur.
- L'alternateur produit un courant électrique alternatif.

L'énergie éolienne

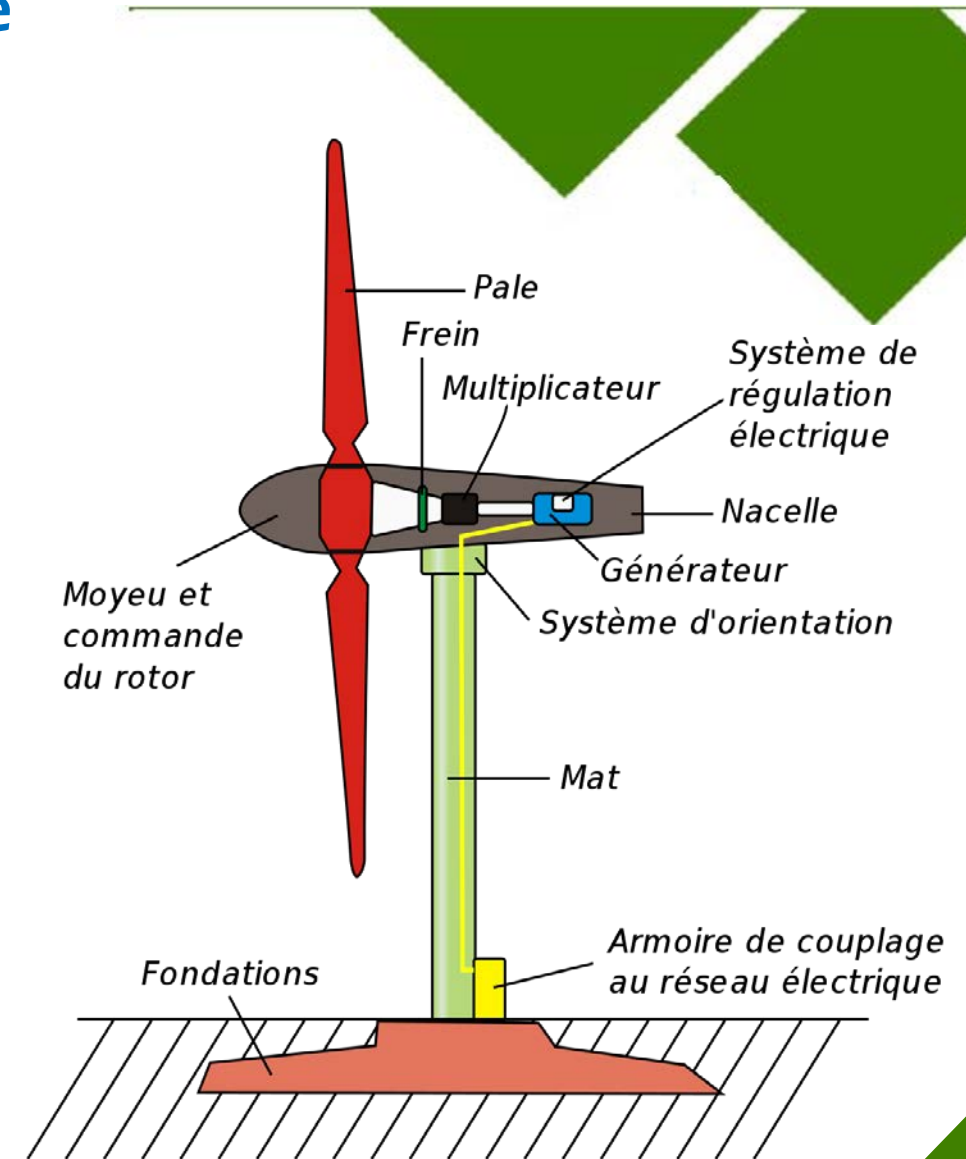
- Une éolienne est un dispositif qui permet de capter l'énergie cinétique du vent pour la transformer en électricité. On parle aussi **d'aérogénérateur**.
- L'énergie éolienne **est une forme indirecte de l'énergie solaire**, Puisque ce sont les différences de températures et de pressions induites Dans l'atmosphère qui mettent les vents en mouvement.
- Les éoliennes peuvent être réalisées sur terre mais également de plus en plus en mer (fermes éoliennes off shore) où la présence du vent est plus régulière.



L'énergie éolienne

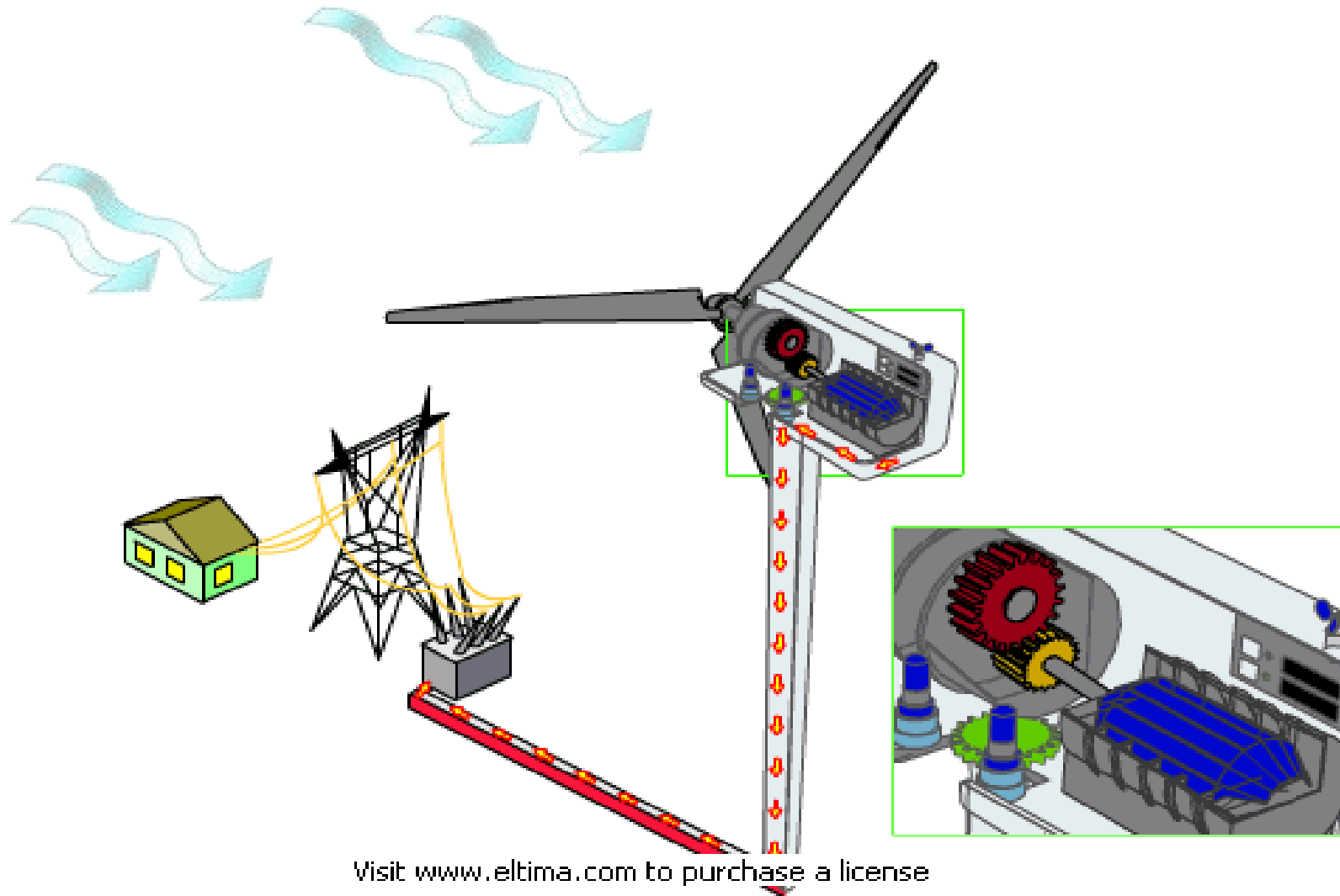
Principe de fonctionnement d'une éolienne

- L'énergie électrique ou mécanique produite par une éolienne dépend de **la vitesse du vent** et **La hauteur du mât**.
- Pour pouvoir démarrer, une éolienne nécessite **une vitesse de vent minimale d'environ 15 km/h**. Les pales permettent de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Le vent fait tourner les pales **entre 10 et 25 tours** par minute. Le générateur transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.
- Pour des questions de sécurité, l'éolienne s'arrête automatiquement de fonctionner lorsque le vent dépasse **90 km/h**.



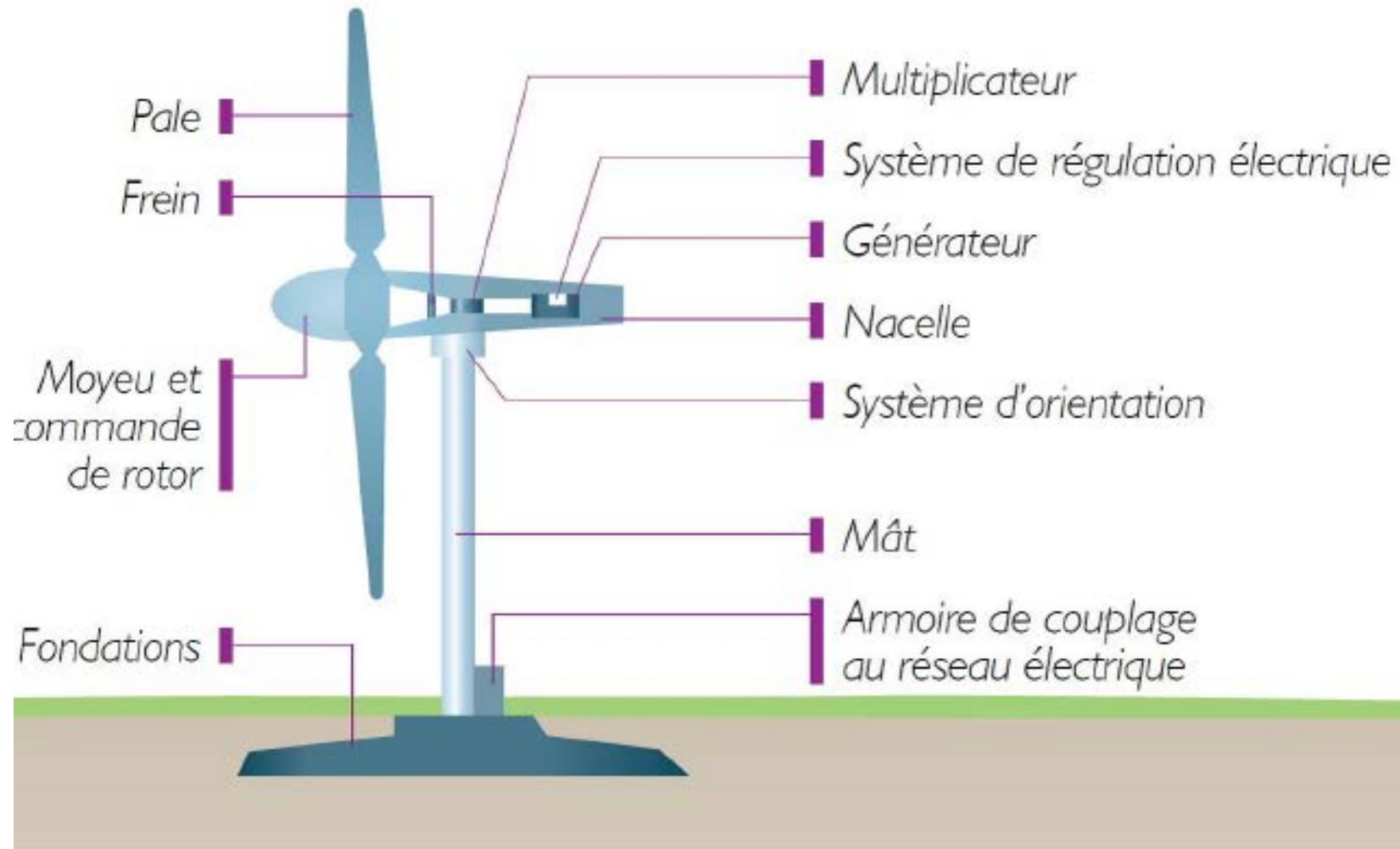
Principe de fonctionnement d'une éolienne

Created with UNREGISTERED version of Eltima SWF & FLV Toolbox



Visit www.eltima.com to purchase a license

Structure générale d'une éolienne



Types des éoliennes

Il existe deux grands types d'éoliennes: **Eolienne à axe vertical** et **Eolienne à axe horizontal**.



Eoliennes On shore



Eoliennes Off shore

Eoliennes à axes horizontaux

On shore: terme américain signifiant sur le sol c'est-à-dire sur les continents

Off shore: littéralement pas sur le sol, donc sur la mer

Moins gênantes (éloignés des habitants), difficiles à installer donc couteuses.

L'énergie éolienne



Rotor hélicoïdal



Rendement plus faible que les éoliennes classiques, moins d'encombrement, générateur pouvant être installé au sol, intégrables aux bâtiments.



Rotor Darrieus



Rotor Darrieus H

Eoliennes à axes verticaux de type Darrieus

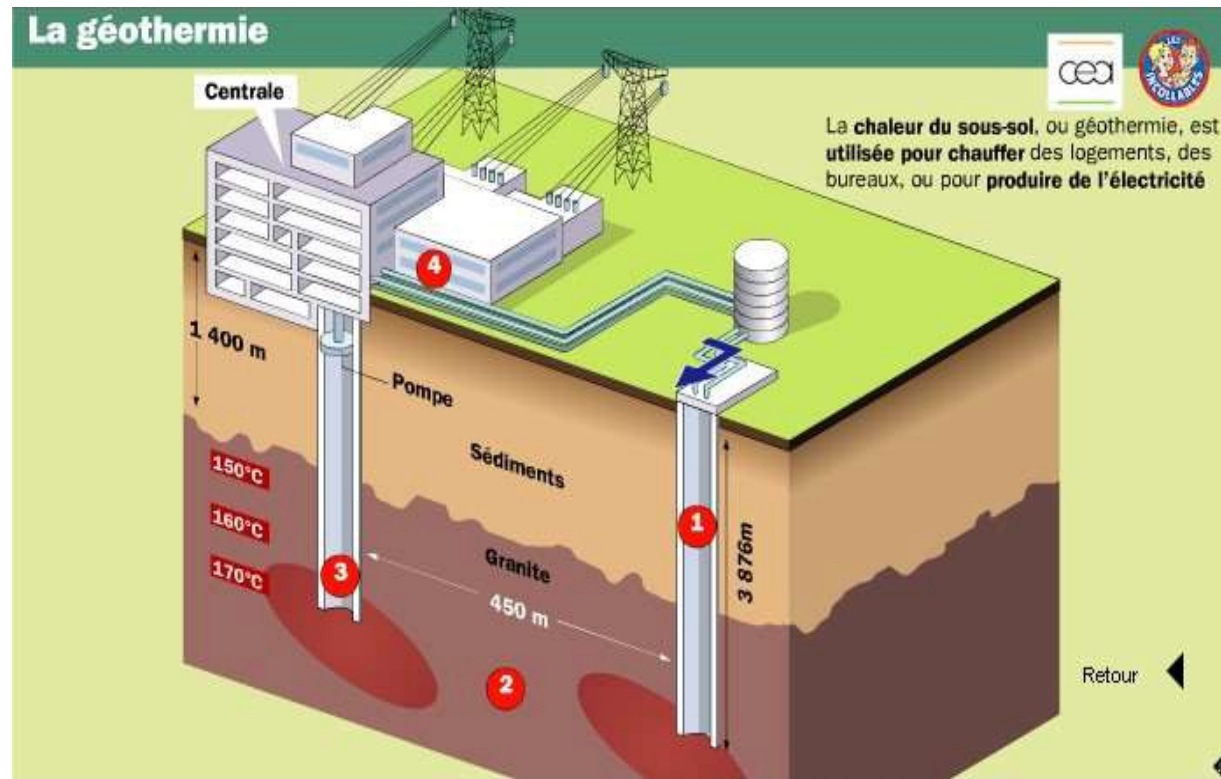


**Éolienne à axe vertical de type Savonius intégrée sur
une toiture en Allemagne**

**Fonctionne avec toutes les directions du vent, capte des vents
puissants, faible rendement**

L'énergie géothermique

La **géothermie** est l'extraction de la chaleur contenue dans le sol. En fonction de la profondeur à laquelle elle est puisée, l'énergie géothermique **peut produire de la chaleur comme de l'électricité.**



L'énergie géothermique

Il existe deux modes d'exploitation de la chaleur du sous-sol :
la production de chaleur et la production d'électricité.

- Avec la géothermie à très basse (température inférieure à 30° C) et basse énergie (température entre 30 et 90° C), on récupère la chaleur du sous-sol pour l'exploiter directement ou grâce à des pompes à chaleur. Elle servira à chauffer des maisons, des immeubles, des piscines...

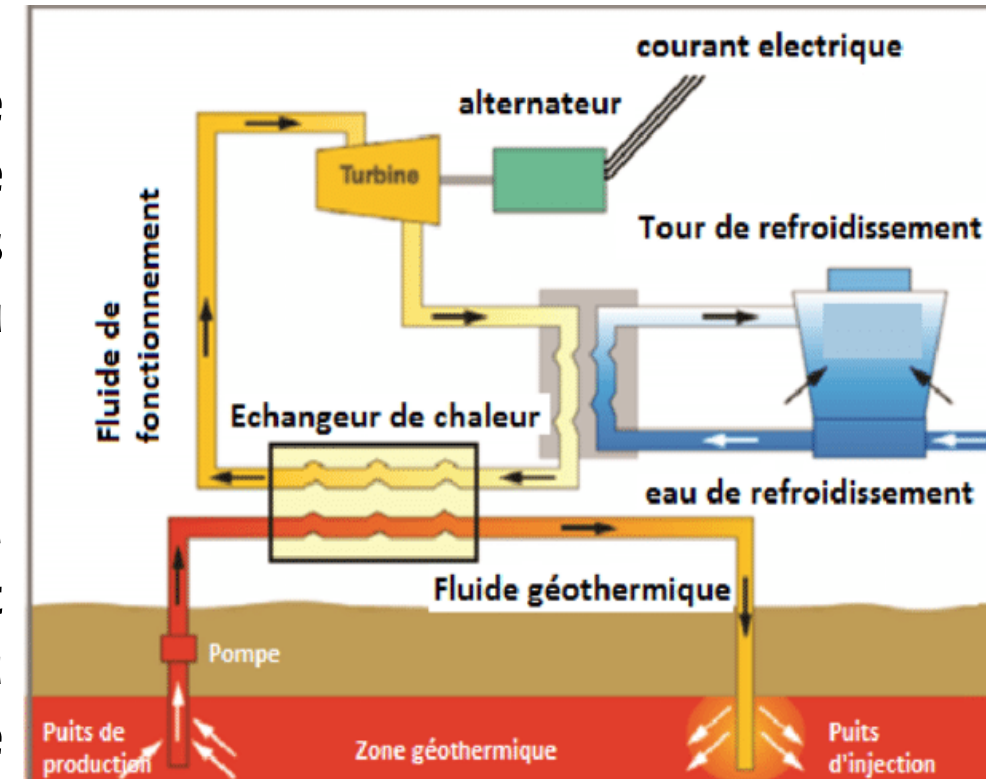
La géothermie superficielle → (<200m basse et très basse énergie)

- Avec la géothermie à haute énergie (températures supérieures à 150° C), on exploite des zones naturellement plus chaudes où la vapeur d'eau, extraite du sous-sol, alimente des turbines **pour produire de l'électricité.**

La géothermie profonde → (>200m haute énergie)

L'énergie géothermique

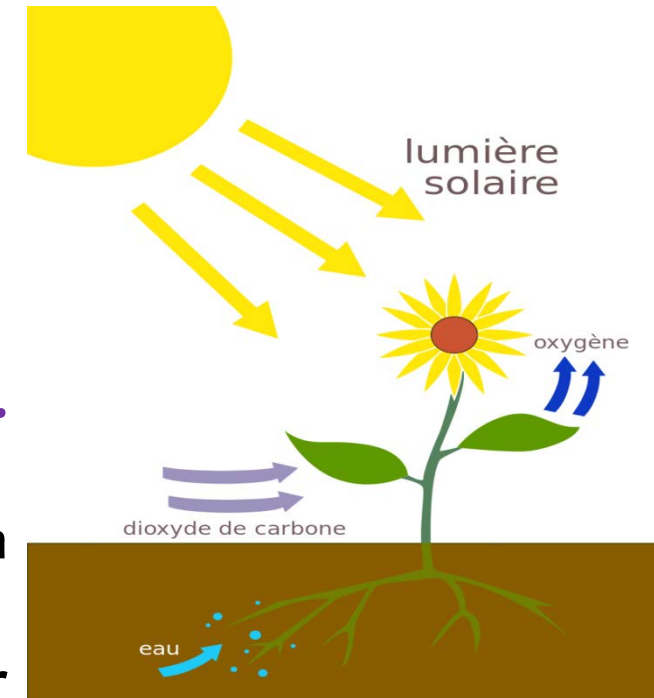
- La géothermie basse température : est la plus facile d'accès : elle représente une énergie d'appoint pour le chauffage des bâtiments, en étant le plus souvent associée à des pompes à chaleur.
- Le système de production d'énergie géothermique est basé sur la différence de température entre le sous-sol et la surface. L'énergie est échangée sous forme de chaleur à travers deux circuits d'eau fermés qui les relient.
- Une pompe à chaleur géothermique extrait de l'eau chaude de l'intérieur de la terre. Le liquide est chaud à cause de la chaleur stockée au sous sol. Au fur et à mesure que le système utilise cette énergie le liquide se refroidit et est retourné au sous sol.



L'énergie de biomasse

D'où provient la biomasse ?

- Les principales provenances de la biomasse sont: la forêt, l'agriculture, les parcs et jardins (déchets verts), les industries et activités humaines ayant traité de la matière d'origine vivante, y compris du bois (industries agro-alimentaires , papetières, de transformation du bois, etc.) et générant des co-produits, des déchets organiques (notamment les boues des stations d'épuration ou les sous-produits animaux) ou des effluents d'élevages.
- La biomasse provient **de l'énergie solaire par photosynthèse**. Deux sources principales peuvent être utilisées :
 - **les déchets organiques** provenant de la consommation domestique, de l'industrie ou de l'agriculture ;
 - **les plantes énergétiques** dédiées (agricoles ou forestières) pour produire de l'énergie



L'énergie de biomasse

- Il existe trois familles principales pour la biomasse

Les biocarburants



Le biogaz ou La
méthanisation



Les bois énergie ou
biomasse solide



L'énergie de biomasse

1- La biomasse solide : Le bois énergie ou sylviculture énergétique

- La **biomasse lignocellulosique**, (ou lignine) comprenant principalement le bois, les résidus verts, ainsi que la paille. Leur utilisation est faite à partir d'une combustion, ou conversions thermochimiques.

- Le bois peut être considéré comme énergie renouvelable tant que le volume prélevé ne dépasse pas l'accroissement naturel de la forêt.

1 mètre cube, pour un contenu énergétique
de 1500 à 2000 KW

- Le bois peut être utilisé comme biocombustible dans des appareils de chauffage domestique (chaudières, inserts, poêles, cuisinières).



L'énergie de biomasse

2- Les Biocarburants

- La **biomasse oléagineuse**, qui est riche en lipide. Ses composants sont le colza, ainsi que le palmier à huile. Cette catégorie de biomasse est appelée "**Biocarburants**". Ces carburants sont récoltés suite à de nouvelles transformations chimiques, et en ressort sous deux formes : **Les esters d'huile végétale, et sous la forme de l'éthanol.**

Huile végétale carburant

- Dès 1891, Rudolph Diesel, convaincu que l'huile végétale est utilisable au même titre que le pétrole et le charbon. (Huile de palme ,Huile de tournesol ,Huile de colza etc...)

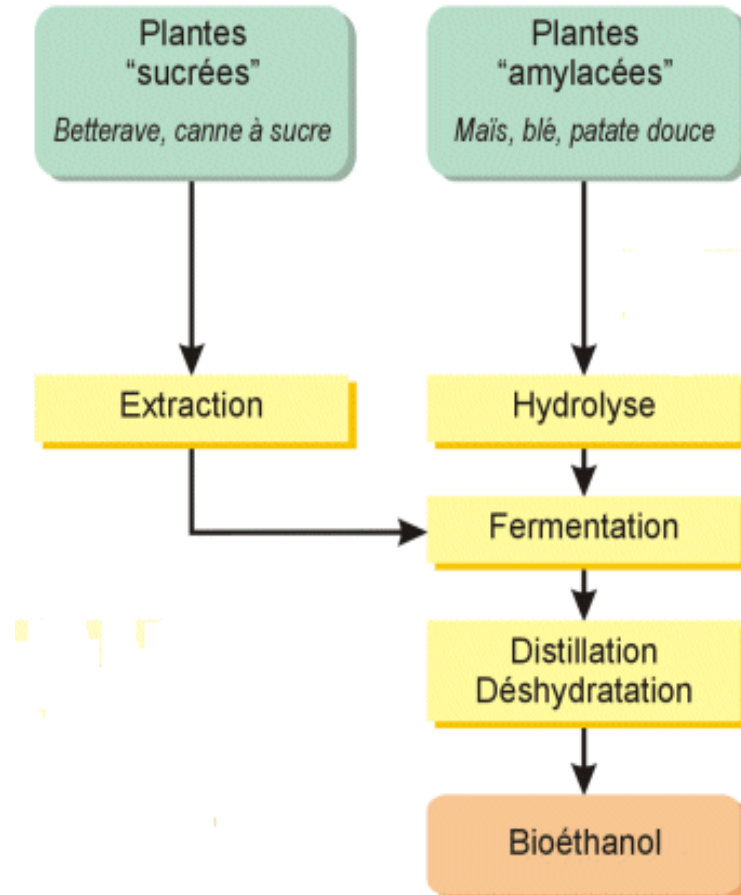
Le **recyclage** des **huiles de friture** et d'autres **résidus gras** Peut être mélanger avec le diesel.



L'énergie de biomasse

Bioéthanol

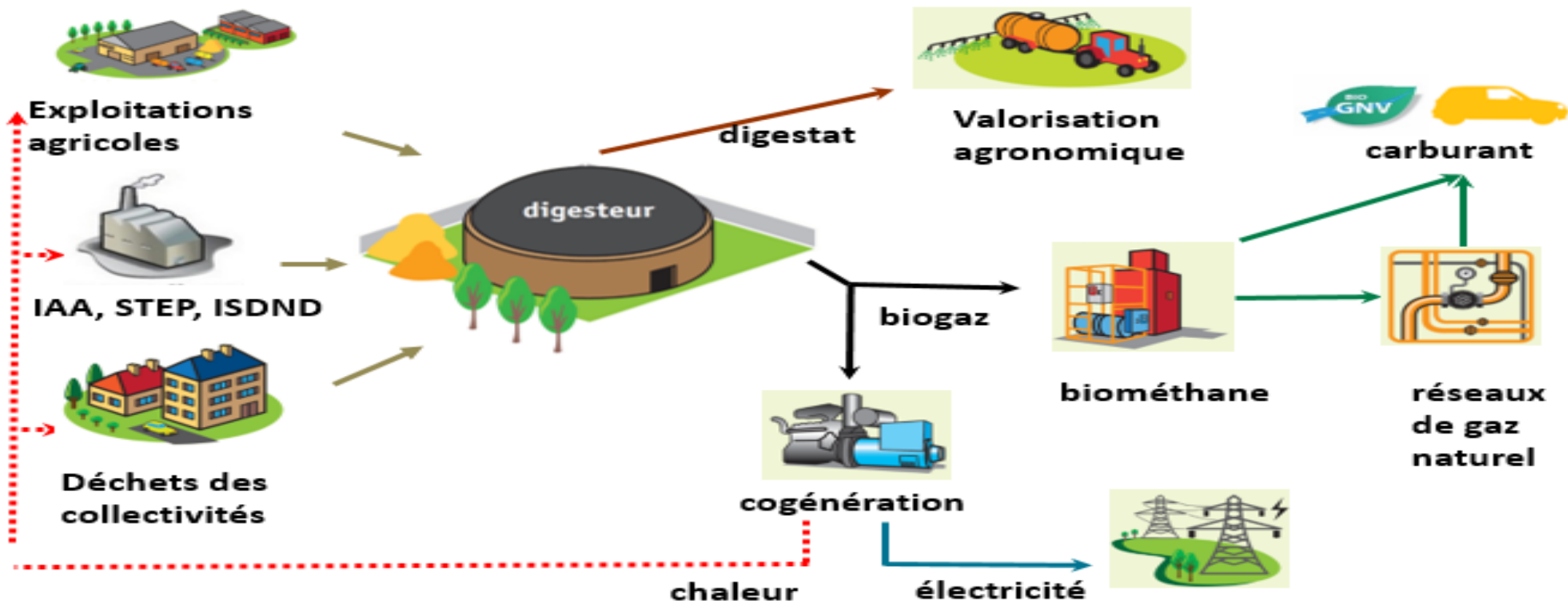
- Fabriquer à partir du saccharose (**betterave, canne à sucre...** ou de l'amidon (**blé, maïs... les céréales**) par fermentation. C'est un processus métabolique convertissant généralement des glucides en acides, en gaz ou en alcools pour en extraire une partie de l'énergie chimique.



L'énergie de biomasse

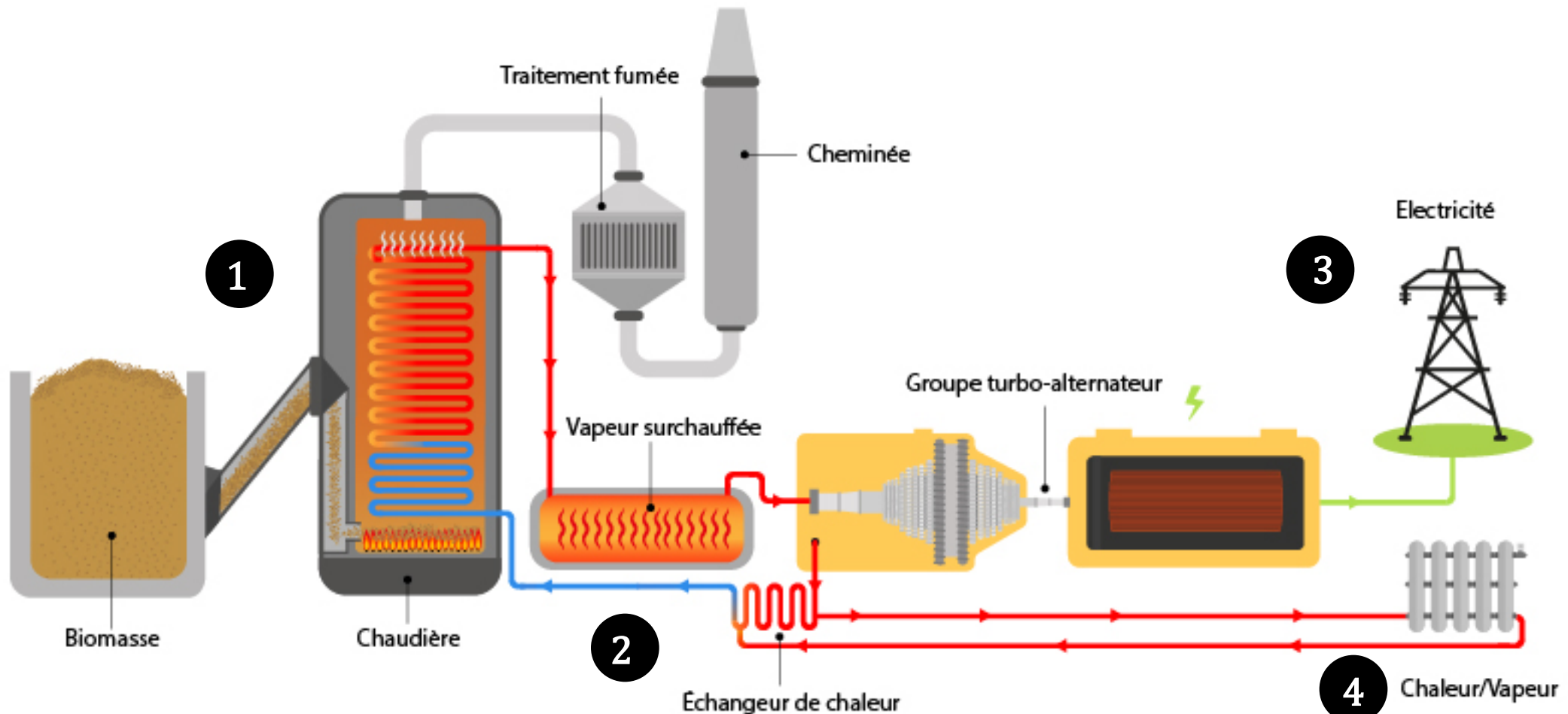
3- Le Biogaz ou la méthanisation

- La **méthanisation** est un procédé biologique de transformation de la matière organique en biogaz, par l'action de bactéries en absence de l'oxygène: on parle de «**digestion anaérobie**».



L'énergie de biomasse

Comment une centrale biomasse transforme résidus végétaux et déchets en électricité?



L'énergie de biomasse

- 1 **La combustion** La biomasse est brûlée dans une chambre de combustion.
- 2 **La production de vapeur** En brûlant, la biomasse dégage de la chaleur qui va chauffer de l'eau dans une chaudière. L'eau se transforme en vapeur, envoyée sous pression vers des turbines.
- 3 **La production d'électricité** La vapeur fait tourner une turbine qui fait à son tour fonctionner un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif.
- 4 **Le recyclage :** A la sortie de la turbine, une partie de la vapeur est récupérée pour être utilisée pour le chauffage. C'est ce que l'on appelle la cogénération.

Les énergies renouvelables nous proposent de multiples façons de produire de l'énergie. Elles donnent aussi plusieurs avantages :

- **Plus les sources sont variées, plus l'indépendance énergétique est assurée.**
- **Décentralisation qui privilégie des petites unités de production locales.**
- **Possibilité d'alimenter en électricité des sites de consommation très éloignés du réseau existant.**
- **Facilité d'installer, d'utiliser et de combiner plusieurs sources en même temps.**
- **Pas d'émission de CO₂ Pour les plus parts des méthodes.**
- **Coût au kWh fixe, faible et stable.**
- **L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme.**

Il ne faut oublier que Les énergies renouvelables comportent plusieurs inconvénients:

- Investissement important.
- L'installation doit s'intégrer dans l'environnement.
- Variabilité de la production de l'éolien qui dépend d'un vent aléatoire.
- Projets de longue durée.
- Le stockage de l'électricité.

Il ne faut pas oublier qu'il faut commencer par **l'optimisation des consommations**, accompagnée par **l'installation des équipements ménagers économes**. Une fois les consommations diminuées ,on peut envisager d'investir dans des systèmes de production d'énergies renouvelables.

- **L'énergie hydraulique** est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chutes d'eau, cours d'eau, courants marin, marée, vagues. Ce mouvement va produire un travail mécanique qui est utilisé directement ou converti sous forme d'électricité.
- **Le solaire photovoltaïque** permet de transformer la lumière du soleil directement en électricité.
- **L' énergie solaire thermique** est directement issue de la chaleur du rayonnement solaire.
- **Le solaire thermodynamique** consiste à utiliser la chaleur du rayonnement solaire pour créer de l'énergie mécanique puis électrique

- Une éolienne est un **aérogénérateur** qui permet de capter l'énergie cinétique du vent pour la transformer en électricité. La puissance d'une éolienne dépend de 2 paramètres : **La hauteur du mât , la vitesse du vent**
- **La géothermie de surface** ou géothermie très basse énergie utilise la chaleur des premiers mètres du sol. Cette technologie est utilisée principalement pour **le chauffage urbain** collectif par réseau de chaleur.
- **La géothermie profonde** utilise véritablement la chaleur du sous-sol. Plus l'on fore profond dans la croûte terrestre, plus la température augmente. Cette technologie permettant la production **d'électricité**.

- On appelle les énergies biomasses tous les matériaux d'origine biologique employés comme combustible pour la production de chaleur, d'électricité, de gaz et de carburant. Le terme de biomasse regroupe **l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie.**
- Il existe deux façons d'utiliser la biomasse : Soit **convertir directement la biomasse en énergie** sous forme de chaleur ou d'électricité. Soit **convertir la biomasse en biocarburants liquides** ou en **biogaz combustible**. Ceci dépend de la nature de la ressource de biomasse.

- 1- Quel est l'intérêt d'exploiter les énergies renouvelables ?
- 2- De quoi dépend la puissance d'une centrale hydroélectrique?.
- 3-En quelle énergie est transformée l'énergie potentielle de pesanteur de l'eau, accumulée par le barrage?
- 4- Expliquer le principe de la conversion d'énergie d'une éolienne.
- 5-La puissance d'une éolienne dépend essentiellement de deux paramètres, lesquelles ?
- 6- Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées aérogénérateurs. Elles produisent de l'électricité lorsque le vent dépasse 30 km/h. / Vrai ou Faux
- 7- Qu'est-ce que le rendement d'un panneau solaire ?
- 7- La conversion photovoltaïque donne un courant électrique alternatif / Vrai ou Faux
- 8-La géothermie à haute température est utilisée pour produire de l'électricité/ Vrai ou Faux

Faire une comparaison entre l'éolienne et l'hydrolienne en remplissant le tableau ci-dessous:

Eolienne	Hydrolienne
Source primaire	Source primaire
Avantages	Inconvénients
Inconvénients	Avantages