

LES CENTRALES NUCLÉAIRES

Les centrales nucléaires permettent de produire de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la fission de l'uranium.

LE FONCTIONNEMENT

Dans une centrale nucléaire, l'**uranium** utilisé ne sort pas directement des mines. Il a d'abord fait l'objet d'un traitement puis d'un enrichissement en uranium 235 selon divers procédés techniques.

L'**uranium** est soumis à un bombardement de neutrons qui provoquent la **fission du noyau** des atomes d'uranium, libérant ainsi une très grande quantité d'énergie, sous forme de chaleur et de rayonnement.

Cette chaleur permet de faire chauffer de l'eau à 300°C, sous pression, afin qu'elle reste liquide, dans le circuit primaire de la centrale, un circuit fermé. Par échange thermique dans le générateur de vapeur, l'eau du **circuit primaire** provoque la transformation en vapeur de l'eau du **circuit secondaire**. Cette vapeur est alors envoyée sur la turbine, laquelle est couplée à un alternateur, qui produit de l'électricité.

La vapeur est ensuite refroidie, soit par l'eau du fleuve ou de la mer, soit dans de très grandes tours appelées aéroréfrigérants.



► Les 3 circuits d'une centrale nucléaire

[Voir la vidéo dans la Médiathèque](#)

Bon à savoir

La sûreté des centrales nucléaires est assurée par :

- **la séparation des circuits** (la radioactivité générée par la réaction de fission est retenue dans le circuit primaire, à l'intérieur du bâtiment réacteur) ;
- **les 3 barrières successives** (la gaine du combustible, la cuve du réacteur et l'enceinte en béton) qui assurent le confinement de la radioactivité ;
- **la formation du personnel, la maintenance des installations et les contrôles permanents.**

ATOUTS ET FREINS

Du fait de leur grande **disponibilité**, les centrales nucléaires sont utilisées **en continu**, quelle que soit l'heure de la journée ou l'époque de l'année.

Elles disposent d'une très **forte puissance de production, à un coût intéressant**. À titre d'exemple, un réacteur de 900 MW produit en moyenne chaque mois 500 000 MWh, ce qui correspond à la consommation de **500 000 foyers environ**.

Elles **ne provoquent aucun rejet de CO₂** et en France, sur le plan technique, la **standardisation du parc** permet de mutualiser les ressources d'ingénierie, d'exploitation et de maintenance.

La fission de l'uranium génère des **déchets radioactifs**, qu'il faut gérer pour protéger l'homme et l'environnement.

Bon à savoir

Les déchets radioactifs sont classés en 2 grandes catégories selon leur durée de vie et leur niveau d'activité : 90% sont **à vie courte** et 10% sont **à vie longue**.

Dès leur production, ils sont triés par nature et niveau d'activité, conditionnés et **stockés** de façon sûre. Une partie de ces déchets est **recyclée** pour produire un nouveau combustible.

EN CHIFFRES

L'électricité d'origine nucléaire est **la principale énergie produite** en France.

En 2011, elle représente **77,7% de la production électrique**.

Elle provient de **58 réacteurs** de différents niveaux de puissance répartis sur 19 centrales sur l'ensemble du territoire. Elle a été développée après le choc pétrolier (1973) pour répondre à la volonté de **garantir l'indépendance énergétique de la France**.

Au niveau mondial, le poids du nucléaire est beaucoup plus réduit car c'est une technologie qui demande une capacité de financement importante et un haut niveau de technologie.



► Localisation des centrales nucléaires

Pour aller plus loin sur le sujet de l'électricité et du développement durable, le kit pédagogique "Énergie et développement durable" pour les cycles 3 est disponible sur le site <http://enseignants.edf.com/>

LES CENTRALES THERMIQUES À FLAMME

Dans les centrales thermiques à flamme, la chaleur dégagée par la combustion de sources d'énergie fossiles permet de produire de l'électricité.

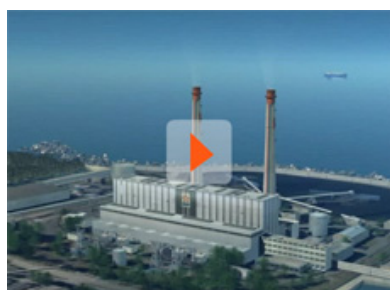
LE FONCTIONNEMENT

Un combustible est brûlé dans une chaudière :

- **du charbon** réduit en poudre,
- **du gaz naturel** injecté tel quel,
- **du fioul**, un dérivé du pétrole, chauffé pour le rendre liquide puis vaporisé en fines gouttelettes.

La combustion dégage de **la chaleur qui va chauffer l'eau contenue dans les tubes de la chaudière et la transformer en vapeur**. Cette vapeur sous pression fait **tourner une turbine qui à son tour, entraîne un alternateur**. L'alternateur produit ainsi de l'électricité.

La vapeur est ensuite refroidie grâce à un condenseur dans lequel circule de l'eau froide puisée dans la rivière ou la mer. L'eau ainsi obtenue est renvoyée dans le circuit.



► Le fonctionnement d'une centrale thermique à flamme
[Voir la vidéo dans la Médiathèque](#)

Il existe **plusieurs sortes d'équipements** de production en thermique à flamme :

- **les unités centralisées** : les centrales au charbon, au fioul et au gaz, les turbines à combustion (gaz ou fioul), les cycles combinés gaz (composés de turbines à combustion et de turbines à vapeur).
- **les unités décentralisées**, implantées près des lieux de consommation, notamment les installations de cogénération qui consistent à produire en même temps de l'électricité et de la chaleur utilisée pour le chauffage et la production d'eau chaude.

ATOUTS ET FREINS

En France, les centrales thermiques à flamme ont été utilisées comme moyen de production de base de l'électricité entre 1950 et 1980. Avec le développement de l'énergie nucléaire, elles servent aujourd'hui à répondre **aux modulations au fil de la journée et aux périodes de pointe** (les jours de grand froid ou de grande chaleur, par exemple).

Elles combinent **plusieurs avantages techniques** :

- réactivité et flexibilité : démarrage rapide et modulation de puissance,
- capacité à être "mises en réserve" ou remises en exploitation dans des délais courts,
- un coût d'investissement plus faible que pour les centrales nucléaires et hydrauliques et des délais de construction réduits.

Cependant, l'utilisation de combustibles fossiles soulève plusieurs problèmes :

- **les émissions polluantes** même si dans certains pays, comme en France, les centrales sont progressivement équipées de systèmes de dépollution performants ;
- **les émissions de CO₂**, ce gaz à effet de serre responsable du changement climatique ;
- **l'épuisement des réserves**.

Bon à savoir

En France, les centrales thermiques au charbon fonctionnent entre 2500 et 5000 heures/an.
Les centrales thermiques au fioul fonctionnent entre 200 et 1500 heures/an.
Les turbines à combustion (gaz) fonctionnent quelques dizaines à quelques centaines d'heures/an.

EN CHIFFRES

En France, le thermique à flamme est **la 3^e source de production d'électricité**, derrière les énergies renouvelables. En 2011, elle représente **9,5% de la production électrique** (majoritairement à partir de gaz, moins émetteur de CO₂).

La tendance est à la construction **d'équipements de plus petite taille**, plus faciles à implanter près des lieux de consommation, moins coûteux pour un rendement énergétique supérieur.

Au niveau mondial, son poids est 7 fois plus important car le gaz ou le charbon sont des ressources naturelles aujourd'hui abondantes. Aux États-Unis, par exemple, il représente plus de 69% de la production, en Chine, 82% et en Inde, 84%.

LES CENTRALES HYDRAULIQUES

L'énergie hydraulique permet de fabriquer de l'électricité dans des centrales grâce à la force des chutes d'eau retenue par des barrages ou du courant d'un fleuve à fort débit.

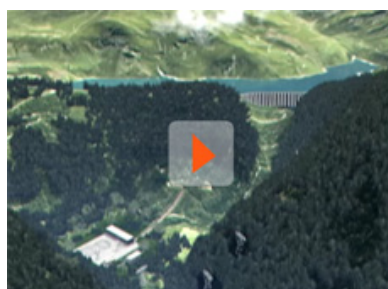
LE FONCTIONNEMENT

Il existe **une grande diversité d'installations hydrauliques**, en fonction de leur situation géographique, du type de cours d'eau, de la hauteur de la chute, de la nature du barrage et de sa situation par rapport à l'usine de production électrique.

On distingue 3 grandes catégories :

- les **centrales de haute chute**, dans les zones montagneuses. Le débit des torrents est faible, mais la hauteur de chute entre le lac de retenue et l'usine est très importante. L'eau est amenée par une conduite forcée jusqu'aux turbines.
- les **centrales de moyenne chute** sont construites dans des zones de moyenne montagne : la hauteur de chute est moins importante mais le débit plus élevé.
- les **centrales de basse chute**, dites aussi **au fil de l'eau**, sont aménagées sur de grands fleuves (en France le Rhin et le Rhône). La chute est faible mais le débit très fort. Il n'y a pas de retenue d'eau et l'électricité est produite en temps réel.

La **puissance de la centrale** est calculée à partir de la **hauteur de la chute d'eau** (en m) et du **débit** de la rivière (en m³/s).



► L'exemple d'une centrale de haute chute
[Voir la vidéo dans la Médiathèque](#)

ATOUTS ET FREINS

Le coût de production très bas de l'hydraulique en fait une énergie **compétitive** et permet de produire **de grandes quantités d'électricité** en période de consommation "normale" comme en période de forte consommation.

Le fonctionnement des centrales ne génère **aucune pollution ni aucun effet de serre** et la grande quantité d'eau stockée dans les barrages permet de constituer des réserves utilisables rapidement pour **répondre aux brusques fluctuations** de la demande en électricité.

Pour produire de l'électricité ou pour évacuer les crues, les centrales effectuent **des lâchers d'eau**.

Le niveau de l'eau à l'aval des installations peut monter très rapidement, ce qui peut représenter un danger pour les personnes se trouvant à proximité ou dans le lit du cours d'eau.

Bon à savoir

Les Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP) fonctionnent en circuit fermé. L'eau est pompée d'un bassin aval vers un bassin amont aux heures de faible consommation, de manière à constituer un stock. Ce stock sera ensuite turbiné du bassin amont vers le bassin aval pour produire de l'énergie en période de forte consommation.

EN CHIFFRES

L'hydraulique est la **2^e source de production d'électricité** en France, grâce à des conditions naturelles favorables : précipitations régulières, relief contrasté, longs cours d'eau, réseau hydrographique dense.

Elle représente **9,3% de la production en 2011**.

En France métropolitaine, il y a environ **2 100 centrales** dont 439 sont exploitées par EDF et 10% de la production est réalisée par des Petites Centrales Hydrauliques (PCH), de moins de 10 MW.

Au niveau mondial, le poids de l'hydraulique est légèrement plus élevé qu'en France.

Des pays comme la Norvège (à 96%), le Brésil (83%) ou le Canada (59%) par exemple y ont fortement recours.



► Les grands bassins de production hydraulique

Pour aller plus loin sur le sujet de l'électricité et du développement durable, le kit pédagogique "Énergie et développement durable" pour les cycles 3 est disponible sur le site <http://enseignants.edf.com/>

LES ÉOLIENNES

La force du vent permet de générer de l'électricité dans des éoliennes, appelées aussi aérogénérateurs.

LE FONCTIONNEMENT



Sous l'effet du vent, l'**hélice** de l'éolienne, appelée aussi rotor, se met en rotation. Elle entraîne à son tour la **rotation d'un axe** situé dans la nacelle, au bout d'un mât et relié à un **alternateur**. L'alternateur produit de l'électricité.

L'énergie produite par une éolienne dépend de sa vitesse, de la régularité de rotation et de la surface des pales (en général 3). Pour pouvoir démarrer, une éolienne nécessite **une vitesse de vent minimale d'environ 10 à 15 km/h**.

► [Le fonctionnement d'une éolienne](#)
[Voir l'animation dans la Médiathèque](#)

Il existe 3 types de configurations éoliennes :

- **les parcs on-shore ou terrestres**, les plus répandus. Ils sont composés de 3 à 70 machines distantes d'au moins 200 m.
- **les parcs off-shore ou maritimes**, qui commencent à se développer. Implantés à environ 10 km des côtes, leurs machines sont ancrées dans des zones de faibles profondeurs, entre 25 et 30 m, pour pouvoir résister à la force des vents et à la pression des masses d'eau.
- **l'éolienne sur terrain individuel** : sa production est destinée à satisfaire l'autoconsommation du propriétaire ou à être revendue au fournisseur d'électricité pour être injectée dans le réseau.

Bon à savoir

Un **multiplicateur de vitesse** est placé juste avant l'alternateur pour augmenter la vitesse de rotation et un **calculateur** est intégré dans la nacelle pour orienter l'hélice perpendiculairement à la direction du vent et modifier l'angle d'orientation des pales par rapport au vent.

Pour des questions de sécurité, l'éolienne s'arrête automatiquement lorsque le vent dépasse 90 km/h.

ATOUTS ET FREINS

Le coût de production de l'éolien est relativement intéressant. Aujourd'hui, **une seule éolienne de 2 MW fournit de l'électricité pour 2 000 personnes**, chauffage compris.

L'éolien offre des **réserves illimitées** et en accord avec les problématiques de développement durable françaises, européennes (20% d'électricité d'origine renouvelable d'ici à 2020) et internationales.

C'est une énergie qui ne produit **ni déchets ni gaz à effet de serre** et sa matière première est totalement gratuite.

Cependant, la production d'électricité éolienne a un **impact environnemental** (visuel et sonore) et le **coût d'investissement initial** par rapport au rendement est relativement élevé.

Elle est également **aléatoire, intermittente** et donc **difficilement prévisible** puisqu'elle dépend directement du vent (fonctionnement 1 jour sur 4 en moyenne).

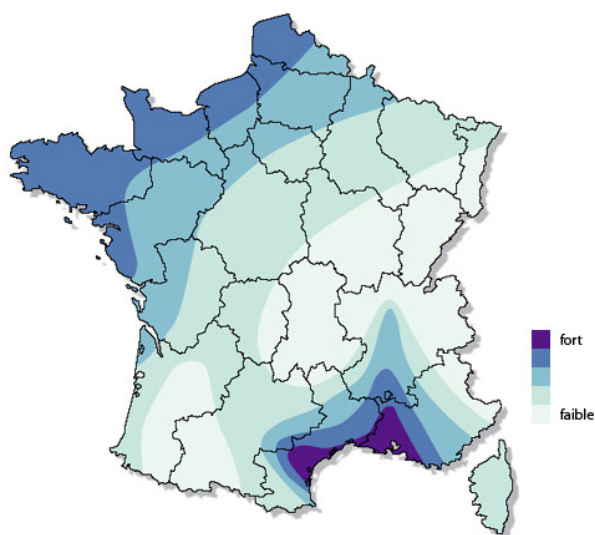
Aujourd'hui, l'exploitation des prévisions météo et de données historiques permettent de mieux prévoir cette intermittence.

EN CHIFFRES

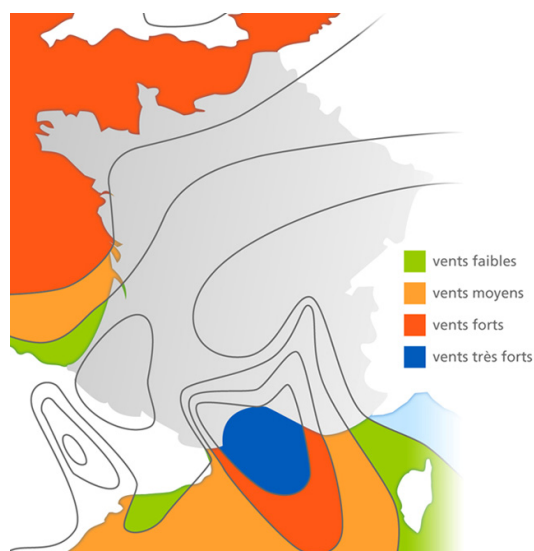
Descendante du moulin à vent du Moyen Âge, la première éolienne a été mise en service en France à Dunkerque en 1991. Aujourd'hui, on compte environ **4 200 éoliennes**, réparties sur 600 parcs.

La France possédant le **2^e gisement de vent en Europe**, la capacité de production est en progression constante, avec 500 éoliennes mises en service annuellement.

En 2011, l'éolien représente **2,2% de la production**.



► Gisement éolien terrestre



► Gisement éolien maritime

Au niveau mondial, son poids est inférieur.

Bien que le vent soit un élément à la portée de toute la planète, l'énergie éolienne nécessite un haut niveau de technologie.

Pour aller plus loin sur le sujet de l'électricité et du développement durable, le kit pédagogique "Énergie et développement durable" pour les cycles 3 est disponible sur le site <http://enseignants.edf.com/>

LES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

La lumière du soleil captée par des panneaux solaires permet de produire de l'électricité à l'échelle industrielle mais aussi à l'échelle individuelle.

LE FONCTIONNEMENT

Les panneaux solaires photovoltaïques captent la lumière du soleil.

Sous l'effet de la lumière, le **silicium**, un matériau conducteur contenu dans chaque cellule, libère des électrons pour créer **un courant électrique**.

Un onduleur permet de transformer le courant continu en courant alternatif.



► Le fonctionnement d'une installation en toiture
[Voir l'animation dans la Médiathèque](#)

Il existe **plusieurs sortes d'équipements** de production photovoltaïque :

- **les unités centralisées** : des fermes photovoltaïques composées de rangées de panneaux reliés entre eux.
- **les unités décentralisées** : les installations en toiture ou au sol chez les particuliers, les entreprises ou les équipements publics collectifs (écoles, piscines...). L'électricité est alors consommée directement ou stockée dans des batteries. Tout ou partie de la production peut être revendue au fournisseur EDF et réinjectée dans le réseau.

ATOUTS ET FREINS

Le solaire photovoltaïque offre des **réserves illimitées** et en accord avec les problématiques de développement durable françaises, européennes (20% d'électricité d'origine renouvelable d'ici à 2020) et internationales. C'est une énergie qui ne produit **ni déchets lors de sa production ni gaz à effet de serre** et sa matière première est totalement gratuite.

Cependant, la production d'électricité photovoltaïque est **intermittente** et **hétérogène** puisqu'elle dépend directement de l'ensoleillement. Un panneau solaire de 1 m² produit entre 100 et 200 Wc de puissance électrique par an mais lorsqu'il est installé dans le sud de la France il produit en moyenne 40 à 50% d'électricité en plus que dans le nord.

Aujourd'hui, de nombreux éléments d'analyse sont exploités pour **mieux gérer l'intermittence** tels que **les historiques de production, les images satellite** et les images au sol obtenues grâce à des **stations de mesures météorologiques intégrées aux sites de production** composées de capteurs et de caméras. Dans certains cas, par exemple à la Réunion caractérisée par un relief important et une forte influence marine, des modèles météorologiques permettent de reproduire la formation des nuages sur le relief pour ensuite les intégrer dans le calcul de la prévision de production électrique.

Son **coût d'investissement et de production** est relativement élevé et se pose également le problème du **recyclage des cellules photovoltaïques**.

EN CHIFFRES

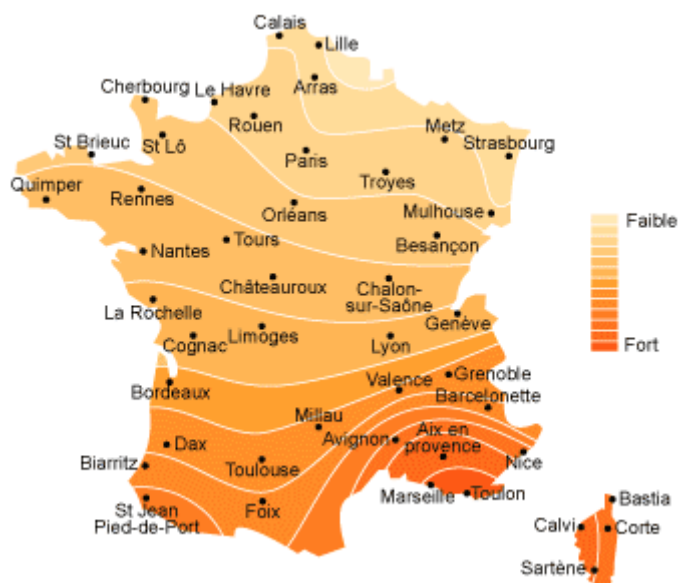
La France dispose du 5^e gisement solaire en Europe, ce qui lui ouvre un potentiel de développement important.

Aujourd'hui, 90% des installations sont de faibles puissances et alimentent principalement les bâtiments. Environ 7 000 foyers non raccordés au réseau ont accès à l'électricité grâce à l'énergie solaire.

La première ferme photovoltaïque a été mise en service en France à Narbonne en 2009. Avec ses 95 000 panneaux, elle produit l'équivalent de la consommation annuelle de 4 250 personnes.

En 2011, le solaire photovoltaïque représente **0,3% de la production.**

Au niveau mondial, son poids est à peu près équivalent.



► Carte d'insolation

Pour aller plus loin sur le sujet de l'électricité et du développement durable, le kit pédagogique "Énergie et développement durable" pour les cycles 3 est disponible sur le site <http://enseignants.edf.com/>

LES CENTRALES BIOMASSE

La biomasse est la source d'énergie la plus ancienne utilisée par l'homme. Elle permet de générer de l'électricité dans des centrales grâce à la chaleur dégagée par la combustion de matières organiques ou de biogaz issu de la fermentation de ces matières.

LE FONCTIONNEMENT

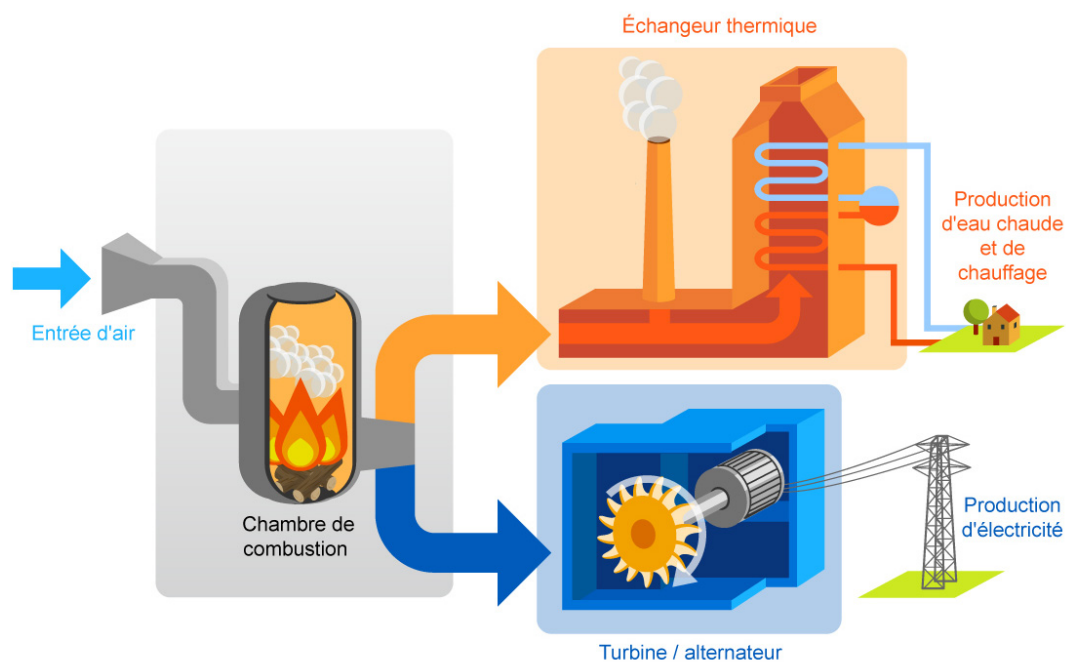
La centrale qui utilise la biomasse fonctionne de la même manière qu'une centrale thermique à flamme. **Des matières organiques** sont **brûlées** dans une chambre de combustion.

La combustion dégage de la chaleur qui va chauffer l'eau contenue dans les tubes d'une chaudière et la transformer en **vapeur**. Cette vapeur sous pression fait **tourner une turbine qui, à son tour, entraîne un alternateur**. L'alternateur produit ainsi de l'électricité.

La vapeur est ensuite refroidie grâce à un condenseur dans lequel circule de l'eau froide puisée dans la rivière ou la mer. L'eau ainsi obtenue est renvoyée dans le circuit.

Il existe 2 méthodes :

- **la méthanisation** : les déchets (ménagers, fumier et lisier d'animaux, boues de stations d'épuration, papiers, cartons...) sont transformés en biogaz par fermentation grâce à des micro-organismes (bactéries). Le biogaz est ensuite brûlé.
- **l'incinération** : les déchets (industries de transformation du bois, paille, canne à sucre, arachide, noix de coco...) sont directement brûlés en produisant de la chaleur, de l'électricité ou les deux (cogénération).



► La cogénération

ATOUTS ET FREINS

La biomasse dispose d'**un très fort potentiel**, notamment grâce aux déchets des activités humaines (décharges, boues d'épuration, déchets urbains et agricoles)

Elle produit **peu de déchets**, dégage **peu d'émissions polluantes** et les gaz à effet de serre émis lors de la combustion des déchets bois et agricoles sont compensés par le CO₂ absorbé par les végétaux pendant leur croissance.

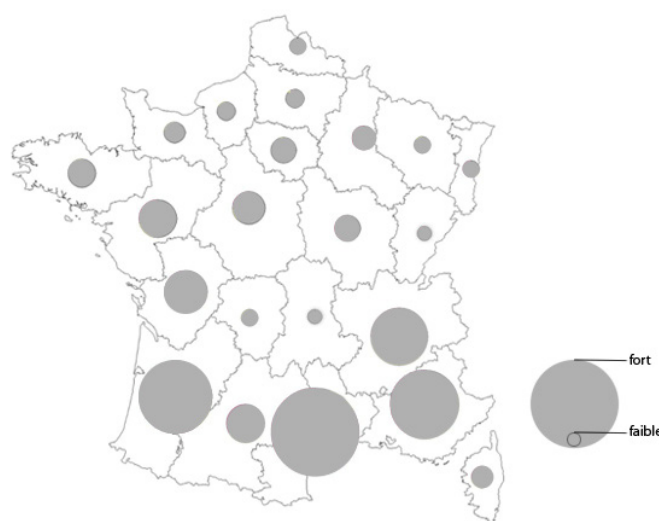
Mais son économie dépend de **la disponibilité de grandes quantités de déchets et de leur proximité**. Dans certains pays, le bois entre en concurrence avec des usages plus prioritaires tels que l'alimentation ou il est surexploité. En France, la forêt est gérée de façon durable. Elle occupe 28% du territoire, soit environ 50% de plus qu'à la fin du 19^e siècle.

EN CHIFFRES

En France, plus de 58% de l'électricité d'origine biomasse est produite à partir des déchets ménagers.

En 2011, la biomasse représente **1% de la production**.

Au niveau mondial, son poids est à peu près équivalent.



► Gisement de déchets agricoles
(arbres urbains, vignes, vergers)

Pour aller plus loin sur le sujet de l'électricité et du développement durable, le kit pédagogique "Énergie et développement durable" pour les cycles 3 est disponible sur le site <http://enseignants.edf.com/>

LES CENTRALES GÉOTHERMIQUES

Les centrales géothermiques permettent de capter la chaleur de l'eau des nappes dans le sous-sol de la Terre.

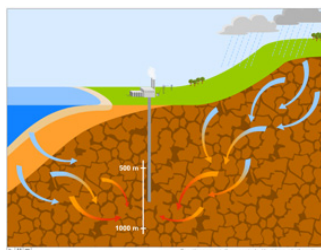
LE FONCTIONNEMENT

De l'eau de pluie ou de mer s'infiltré dans les fractures de la croûte terrestre pour constituer **un réservoir** à haute température, de 150 à 350 °C.

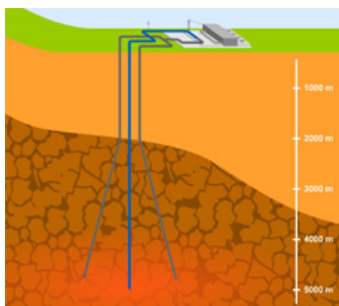
Grâce à un forage dans le sous-sol, l'eau chaude est **pompée** jusqu'à la surface. Pendant sa remontée, elle perd de sa pression et se transforme en **vapeur**.

La vapeur fait **tourner une turbine qui fait à son tour fonctionner un alternateur**, qui produit un courant électrique

Une autre technique a été étudiée en France à travers un démonstrateur unique au monde : **la géothermie par roches fracturées**. De l'eau froide est injectée à 5 000 m de profondeur. Elle se réchauffe au contact de la roche à plus de 200 °C. Elle est ensuite pompée puis réinjectée dans le milieu après passage dans un changeur de chaleur. L'énergie récupérée permet de produire de l'électricité.



► L'exemple de la centrale géothermique par réservoir d'eau chaude
[Voir l'animation dans la Médiathèque](#)



► L'exemple de la centrale géothermique par roches fracturées
[Voir l'animation dans la Médiathèque](#)

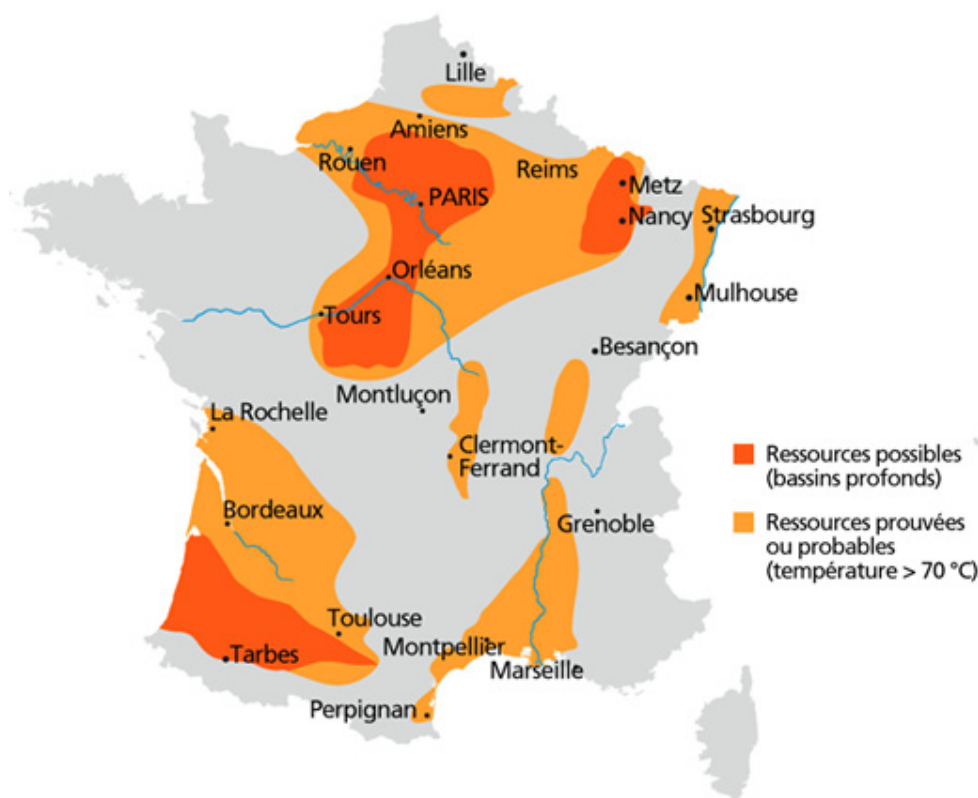
ATOUTS ET FREINS

La géothermie n'émet **pas de gaz à effet de serre** et dispose d'un **fort potentiel** lorsque les gisements sont directs. Mais son **coût d'investissement** est très élevé et la puissance variable selon les régions et la nature des sols.

EN CHIFFRES

Le poids de la géothermie est aujourd'hui négligeable car il existe juste **une vingtaine de pays producteurs**. Dans certains, elle joue un rôle essentiel comme les Philippines (16% de l'électricité produite) ou l'Indonésie (11 %) et le Mexique (10%).

La France dispose d'un potentiel dans **le bassin Rhénan** en Alsace et dans **les Caraïbes** (Guadeloupe, Martinique, Dominique). Plusieurs centrales sont en activité et de nombreuses autres sont en projet.



► Gisement géothermique

Pour aller plus loin sur le sujet de l'électricité et du développement durable, le kit pédagogique "Énergie et développement durable" pour les cycles 3 est disponible sur le site <http://enseignants.edf.com/>

LES ÉNERGIES MARINES

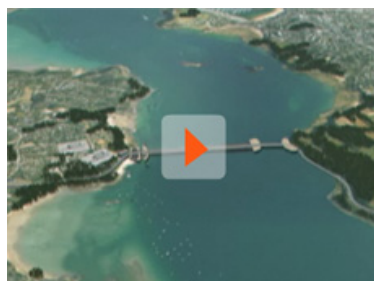
Grâce aux flux naturels d'énergie des courants et des marées, il est possible de produire de l'électricité dans différents types d'installations

LE FONCTIONNEMENT

Les énergies marines recouvrent plusieurs procédés de production d'électricité dont certains sont exploités industriellement :

- **la force du flux et du reflux de la marée**, qui fait tourner les turbines d'usines marémotrices.
- **la force des courants marins**, qui fait tourner les hélices des hydroliennes.

D'autres sont encore à l'état de recherche ou d'expérimentation : les différences thermiques, les vagues ou la houle, les algues et le phytoplancton...



► Le fonctionnement d'une usine marémotrice
[Voir la vidéo dans la Médiathèque](#)



► Le fonctionnement d'une hydrolienne
[Voir la vidéo dans la Médiathèque](#)

ATOUTS ET FREINS

Les modes de production actuellement exploités disposent de nombreux atouts : ils sont **prévisibles** (les marées donc le mouvement des courants peuvent être calculés à l'avance) et **occupent peu d'espace** dans le cas des hydroliennes.

Mais le **coût d'investissement** est élevé et tous les pays ne disposent pas de potentiel.

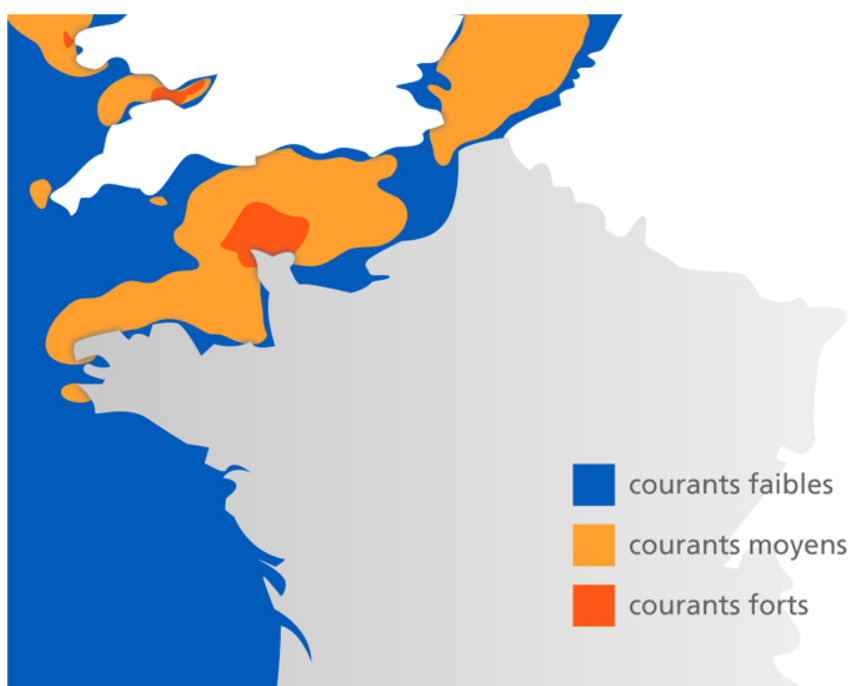
EN CHIFFRES

Le poids des énergies marines est aujourd'hui **négligeable** bien que de nombreux projets soient en expérimentation ou en cours de développement.

En inaugurant **l'usine marémotrice de La Rance** en 1966 et **le pilote de ferme hydrolienne de Paimpol-Bréhat**, la France est pionnière dans ce domaine.

L'usine marémotrice produit chaque année 4% de l'électricité consommée en Bretagne (soit l'équivalent de **la consommation d'une ville comme Rennes**) et le parc d'hydroliennes permettra d'alimenter environ **4 000 foyers**.

La France dispose d'un **fort potentiel**, au large de la Bretagne et du Cotentin, une zone dans laquelle les courants sont parmi les plus élevés d'Europe (3 m/s).



► Gisement hydrolien

Pour aller plus loin sur le sujet de l'électricité et du développement durable, le kit pédagogique "Énergie et développement durable" pour les cycles 3 est disponible sur le site <http://enseignants.edf.com/>