

QU'EST-CE QUE L'ÉNERGIE ?

L'énergie désigne
"la capacité à effectuer
des transformations"



Tu
peux
m'expliquer
ce que ça veut dire ?

L'ÉNERGIE, C'EST PAR EXEMPLE CE QUI PERMET DE...



...fournir
du travail



...produire
du mouvement



...modifier
la température



...changer l'état
de la matière



...éclairer
une pièce

La
nourriture
me fournit de
l'énergie !



Toute action humaine requiert de l'énergie :
le fait de se **déplacer**, de **se chauffer**, de **fabriquer des objets**...
et même de **vivre** !

L'énergie est présente partout autour de nous :

- dans la **rivière** qui fait tourner la roue du moulin,
- dans le **moteur** d'une voiture,
- dans l'**eau** de la casserole que l'on chauffe,
- dans la force du **vent** qui fait tourner les éoliennes...
- et même dans notre **corps humain**.

L'énergie peut donc exister sous **plusieurs formes**.

Parmi les principales, on trouve :

- L'**énergie thermique**, qui génère de la chaleur
- L'**énergie électrique** ou **électricité**, qui fait circuler les particules (*les électrons*) dans les fils électriques
- L'**énergie mécanique**, qui permet de déplacer des objets
- L'**énergie chimique**, qui lie les atomes dans les molécules
- L'**énergie de rayonnement** ou **énergie lumineuse**, qui génère de la lumière
- L'**énergie musculaire**, qui fait bouger les muscles



Oui,
mais
tu parlais de
"transformation" ?

L'ÉNERGIE TOTALE D'UN SYSTÈME SE CONSERVE MÊME QUAND ELLE SE TRANSFORME

La quantité totale d'énergie dans un système donné ne change pas,
on ne peut donc ni la créer, ni la détruire.

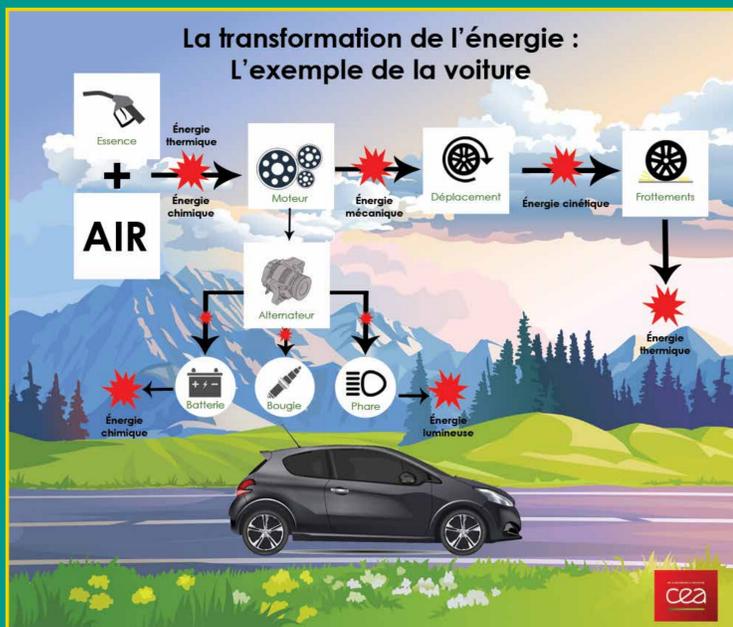
L'énergie est transmise d'un élément vers un autre,
souvent sous une forme différente.

Un exemple :

Quand on chauffe de l'eau, différentes **transformations d'énergie** ont lieu. En brûlant dans l'air, le bois libère son **énergie chimique**. Cette énergie se transforme en chaleur, l'**énergie thermique**, et en lumière, l'**énergie de rayonnement**. Lors de cette réaction, la quantité d'énergie totale ne change pas, elle change simplement de forme.



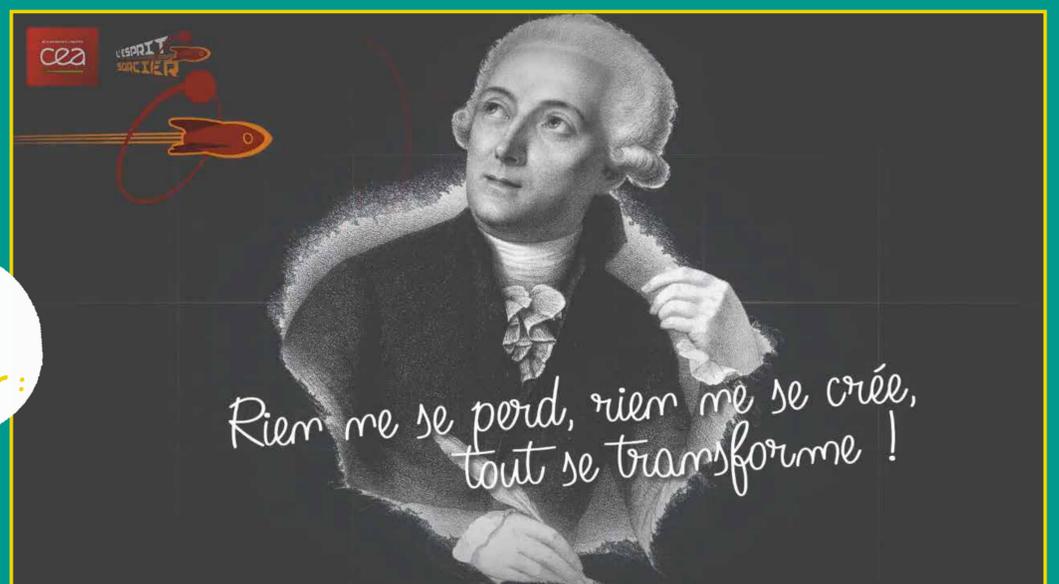
UN AUTRE EXEMPLE DE TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE :



Lorsqu'une voiture fonctionne, l'essence libère son **énergie chimique** en brûlant dans l'air. Elle chauffe le moteur et pousse les pistons (**énergie thermique** et **énergie mécanique**).

Les pistons font tourner le moteur et les roues, **transfert d'énergie mécanique**, et la voiture se déplace (**énergie cinétique**).

Au passage, la courroie fait tourner l'alternateur qui transforme une petite partie de l'**énergie mécanique** en **électricité** qui sera stockée dans la batterie.



QUELLE EST L'UNITÉ DE MESURE DE L'ÉNERGIE ?

On peut définir l'énergie comme le travail accompli par une force qui déplace un objet à une certaine distance :

$$\text{Énergie (travail)} = \text{Force} \times \text{Distance}$$

L'unité internationale pour quantifier l'énergie est le **joule**.

1 **joule*** (J) est l'énergie pour déplacer une force de 1 **newton*** sur 1 **mètre** de distance :

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m}$$



Oui ! Un autre exemple : si tu brûles une feuille de papier l'énergie dégagée est d'environ 84 000 joules ! C'est pour ça qu'on utilise parfois d'autres unités quand on veut mesurer de grandes quantités d'énergie..

* Joule et Newton sont des savants qui ont donné leurs noms à des unités de mesure

AUTRES UNITÉS D'ÉNERGIE



Dans le domaine de la nutrition, c'est la kilocalorie qui est utilisée :

1 kilocalorie équivaut à 4,2 kilojoules

Pour évaluer l'énergie utilisée sur une année, on utilise souvent la tonne équivalent pétrole (tep) :

1 tep est égale à 41 868 000 000 joules



Non, le watt mesure une puissance, c'est-à-dire la vitesse à laquelle l'énergie est délivrée. 1 watt équivaut donc à 1 joule par seconde.

$$P \text{ (watt)} = E \text{ (joule)} / 1 \text{ seconde}$$

ou

$$E \text{ (joule)} = P \text{ (watt)} \times T \text{ (temps exprimé en seconde)}$$

Par exemple, si pour faire bouillir un litre d'eau, on utilise d'un côté une flamme d'un gros feu de bois et de l'autre la flamme d'une bougie : dans les deux cas, la même quantité d'énergie sera utilisée pour faire bouillir l'eau. Seulement, ce sera fait plus rapidement avec un feu qu'avec une bougie. L'énergie est dégagée plus rapidement avec le feu de bois qu'avec la flamme de la bougie. Le feu de bois est donc plus puissant que la flamme de la bougie.

On utilise aussi le **kWh (kilowattheure)** qui vaut **1000 wattheure (Wh)**. Cette unité sert à mesurer la consommation de chaque foyer : le Wh est une unité de mesure d'énergie qui correspond à la quantité produite en une heure par une machine d'un watt.

Sur les factures d'électricité par exemple, on trouve le prix du kWh et le nombre de kWh consommés.



ÉNERGIES ET PROCESSUS ÉLÉMENTAIRES

Énergies hydraulique et éolienne



L'énergie hydraulique produite par une chute ou un courant d'eau ou l'énergie éolienne produite par le vent proviennent du mouvement des molécules d'eau ou des molécules de gaz :

L'énergie d'une molécule d'eau qui chute de 100 m sous l'effet de son poids à une vitesse de 40 m/s est de $2,4 \times 10^{-20}$ joules. C'est aussi l'ordre de grandeur de l'énergie d'une molécule d'oxygène dans un vent de 90 km/h (25 m/s).

En géothermie, l'énergie d'une molécule d'eau à 100° C est encore plus faible : $6,4 \times 10^{-21}$ joules.

Toutes ces énergies nécessitent l'utilisation de grandes quantités de matière : il faut environ 4,3 t (tonnes) d'eau pour produire un MWh.

Énergies solaire et chimique

Dans le cas de l'énergie solaire, c'est l'absorption d'un photon qui produit de l'énergie. Dans le domaine visible par exemple, l'énergie d'un tel photon est de l'ordre 4×10^{-19} joules.

Lors d'une combustion (charbon, pétrole, gaz...), l'énergie résulte de la rupture des liaisons intramoléculaires. Un tel processus produit environ $6,4 \times 10^{-19}$ joules.



Ces énergies sont plus de 10 fois plus grandes que les précédentes et demandent moins de matières ou d'espace : 110 kg de charbon pour 1 MWh.

Énergie nucléaire



La seconde moitié du 20^e siècle a vu émerger des énergies qui font appel aux énergies de liaison des particules constituant les noyaux des atomes.

La fission d'un atome d'uranium (^{235}U) libère une énergie de 200 millions de fois supérieure à celle de la combustion.

La fusion des 2 isotopes de l'hydrogène (tritium et deutérium) libère une énergie de 18 millions de fois supérieure.

Il faut 43 μg d'uranium ou 5 μg de deutérium-tritium pour produire 1 MWh.

LES SOURCES D'ÉNERGIE

L'énergie est issue de différentes sources d'énergie qui peuvent être classifiées en deux groupes :

- les **énergies dites non-renouvelables**, dont les sources ont des stocks sur Terre limités
- les **énergies dites renouvelables**, qui dépendent d'éléments que la nature renouvelle en permanence.

Les sources d'énergie dite non-renouvelable

Énergies fossiles

Ce sont les résidus des matières végétales et organiques accumulés sous terre pendant des centaines de millions d'années.

Ces résidus se transforment en hydrocarbures (pétrole, gaz naturel et de schiste, charbon...).

Énergie nucléaire

Elle est "localisée" dans le noyau des atomes.

Dans les centrales nucléaires actuelles, on utilise la fission (cassure) des noyaux d'uranium, élément que l'on retrouve sur Terre dans les mines. Les mines d'uranium s'épuiseront un jour, comme le charbon, le gaz et le pétrole.

Les sources d'énergie dite renouvelable

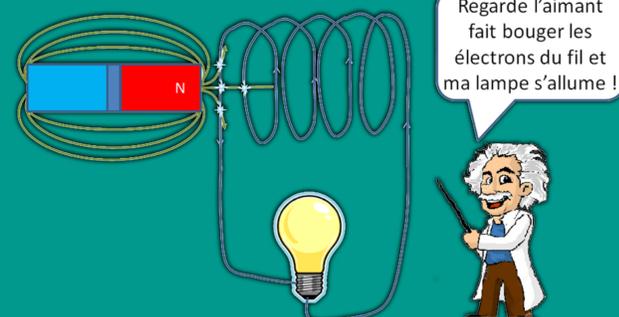
Le soleil, le vent, l'eau, la biomasse et la géothermie sont des sources qui ne s'épuisent pas et sont renouvelées en permanence.



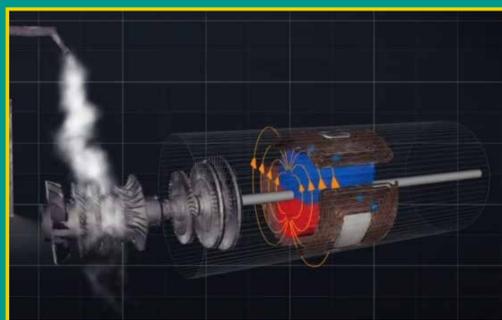
COMMENT FABRIQUE-T-ON DE L'ÉLECTRICITÉ ?

Quand un **aimant** se déplace près d'un fil de cuivre, il entraîne le déplacement d'**électrons** à l'intérieur du fil, produisant ainsi un **courant électrique**.

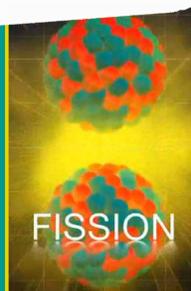
Dans les centrales électriques, on retrouve le même principe : un **alternateur** est constitué d'un gros **aimant** qui tourne au centre de **bobines électriques**. L'aimant tourne grâce à une **turbine** et induit un courant électrique dans les fils des bobines qui sont fixes.



La turbine se comporte comme un moulin actionné par de la **vapeur d'eau** sous pression. Pour faire bouillir l'eau, on utilise l'énergie thermique issue de plusieurs sources d'énergie possibles : gaz, charbon, pétrole...



On peut produire de l'électricité avec toutes ces sources d'énergie ?



L'électricité peut être produite par la rotation d'une **turbine** reliée à un **alternateur**.

La **turbine** est entraînée par la vapeur issue de la combustion du pétrole, du charbon ou du gaz, ou résultant de la fission de noyaux radioactifs (uranium...), ou produite par le rayonnement solaire.

L'électricité peut également résulter de l'**écoulement de l'eau** (barrages) ou **de l'air** (éolienne).

Elle peut être aussi produite par conversion directe du rayonnement par des panneaux solaires.

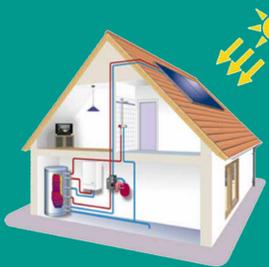
Donc l'électricité est une **énergie dite secondaire** car elle est obtenue à partir de diverses énergies primaires.

L'ÉNERGIE SOLAIRE

LE SOLAIRE THERMIQUE

Basse température

Des capteurs solaires thermiques sont installés sur les toits des bâtiments. Un capteur solaire thermique recueille l'énergie provenant du Soleil et la transmet à un fluide **caloporteur**. La chaleur est ensuite utilisée afin de produire de l'eau chaude sanitaire ou bien encore chauffer des locaux.



Haute température

Ce procédé fournit de la chaleur haute température (allant de 250 à 1 000° C) par concentration du **rayonnement solaire** par miroir sur une tour. Ce pouvoir calorifique est utilisé pour actionner des turbines à vapeur afin de produire de l'électricité.



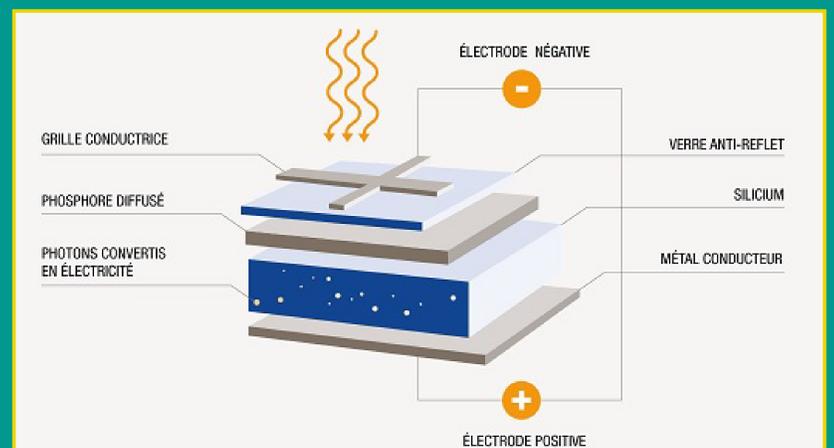
Ci-dessus : la centrale solaire thermique de Shouhang Dunhuang dans le désert de Gansu en Chine a une puissance de 10 MW et une capacité de stockage de 15 heures lui permettant de fonctionner 24h/24.

PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES



Un panneau solaire est constitué d'un matériau sensible à la lumière, comme le silicium qu'on trouve abondamment sur Terre. Les photons font s'agiter les électrons qui gravitent autour des atomes de silicium. Pour provoquer un **courant électrique**, c'est-à-dire faire circuler ces électrons, on place sur chaque face du panneau des électrodes de polarités différentes (anode (-) en phosphore, cathode en bore (+)).

Le panneau agit alors comme une pile et fournit un courant continu, à l'inverse d'un alternateur qui fournit un courant alternatif (comme son nom l'indique).



POTENTIEL DE PRODUCTION D'ÉNERGIE EN FRANCE

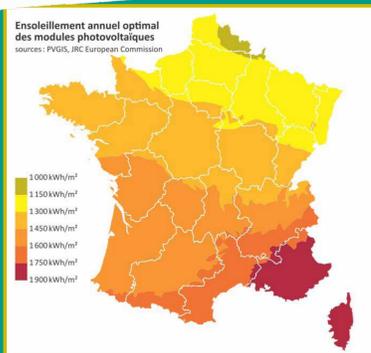
ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

L'insolation moyenne est comprise entre 1 200 et 1 700 kWh/m².

La production annuelle d'un panneau solaire est de l'ordre de 5 à 10 % de l'insolation, soit 60 à 170 kWh/m².

La production d'électricité est de 500 TWh/an.

Le solaire photovoltaïque serait-il suffisant ?



Il faudrait donc de l'ordre de 5 000 km² de panneaux pour couvrir la production française d'électricité. Soit environ 1% du territoire métropolitain (c'est de l'ordre de grandeur des surfaces occupées par le vignoble). Et 5 fois plus environ pour couvrir l'ensemble des besoins en énergie primaire.

Mais :

- Les valeurs de production ne valent que pour les orientations au sud.
- La production solaire est diurne et saisonnière.
- Se pose alors le problème du stockage le jour pour la nuit, l'été pour l'hiver.
- L'électricité se stocke mal ! (le rendement d'une filière de stockage < 20%).
- La durée de vie des panneaux et des dispositifs de stockage est ~ 15 ans.
- Si on tient compte de l'énergie nécessaire à la réalisation de ces dispositifs, les surfaces utilisées doivent être multipliée par un facteur 2 à 4.

ÉNERGIE ÉOLIENNE

L'énergie électrique fournie par une éolienne est fortement variable au cours du temps.

Le vent n'est constant ni en force ni en direction.

Elle ne délivre sa puissance nominale (maximale) que dans une fourchette de vitesses de vent assez restreinte (~50 – 90 km/h).

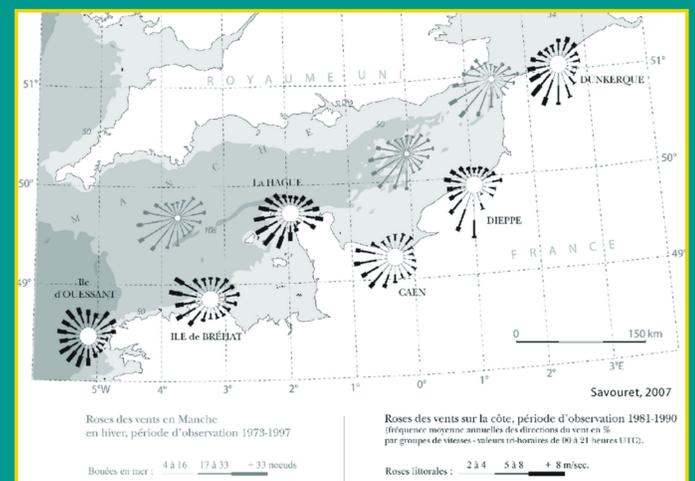
Le rapport de l'énergie fournie sur une année (en Wh) à la puissance nominale installée est le plus souvent de l'ordre de 2 000 (au lieu 8 760, soit le produit de 365 jours x 24 heures).

Pour fournir 500 TWh (soit 500 000 GWh) avec des éoliennes fournissant 20 GWh par km², il faudrait "planter" une surface favorable de 25 000 km², soit 5% du territoire métropolitain.



Pour un champ d'éoliennes, la puissance délivrée par unité de surface est en première approximation indépendante de la taille des éoliennes. En effet, des éoliennes plus puissantes sont aussi plus grandes et doivent être plus espacées pour que le vent soit efficace sur toutes les éoliennes.

La densité de puissance nominale installée dans un champ d'éoliennes est de l'ordre de 10 MW par km², soit une production annuelle de l'ordre de 20 GWh par km².



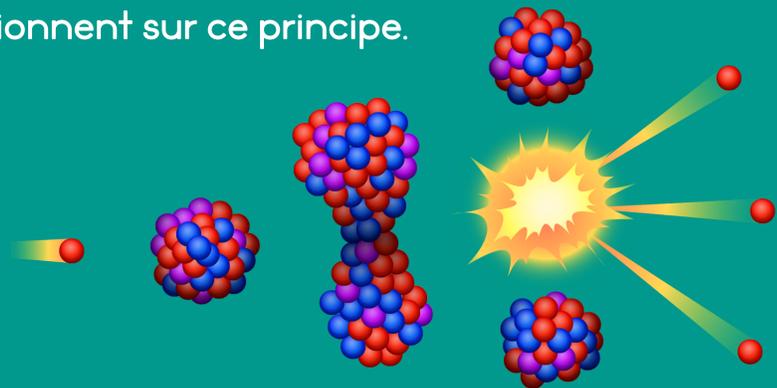
L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

LA FISSION NUCLÉAIRE (nos centrales)

Le principe

On trouve, dans la nature, un seul minéral qui soit fissile : l'Uranium 235 (^{235}U). Si on le bombarde de neutrons, il se scinde en deux noyaux fils avec émission de neutrons et d'énergie. C'est la **fission nucléaire**. Lors de la réaction, les neutrons libérés peuvent eux-mêmes interagir avec d'autres noyaux d'uranium et poursuivre ainsi la fission. C'est ce que l'on appelle la réaction en chaîne.

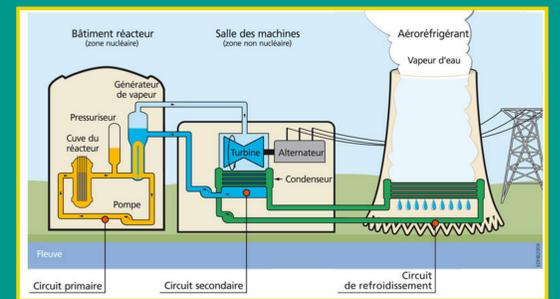
Toutes les **centrales nucléaires du monde** fonctionnent sur ce principe.



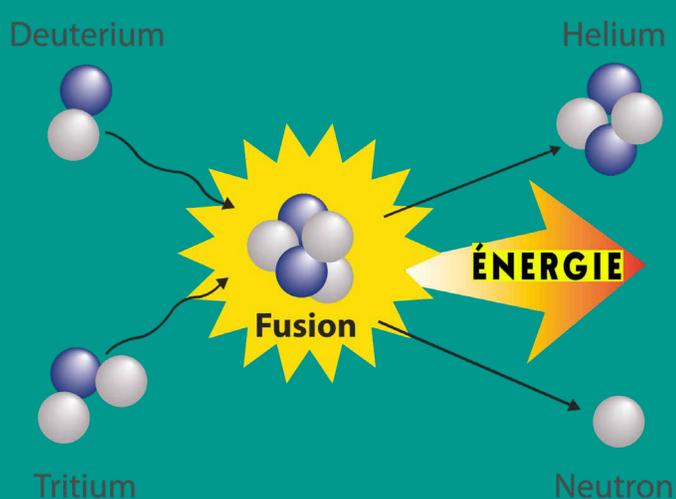
L'exploitation

Dans un réacteur nucléaire, le phénomène de la fission est maîtrisé par des barres de contrôle qui plongent dans la cuve où se trouve l'uranium, ce qui permet d'agir sur la **réaction en chaîne** et donc de faire varier la puissance du réacteur ou de l'arrêter.

La grande quantité de chaleur dégagée par la fission fait chauffer de l'eau, maintenue sous pression. Ce circuit dit "primaire" d'eau chauffe à son tour un circuit secondaire d'eau qui va se transformer en vapeur et faire tourner une turbine, qui entraînera elle-même un alternateur, produisant de l'électricité.



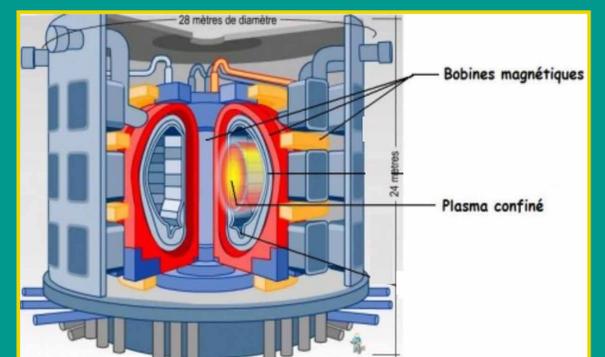
LA FUSION NUCLÉAIRE ?



La fusion consiste à **rapprocher deux isotopes d'hydrogène** (deutérium et tritium) à des températures de plusieurs millions de degrés. Lorsque ces noyaux légers fusionnent, le noyau créé se retrouve dans un état instable. Il tente de retrouver un état stable en éjectant un atome d'hélium et un neutron et crée alors de l'énergie.

Tu me parles du Tokamak de fusion nucléaire ?

A Cadarache (Bouches du Rhône), le Tokamak (Dispositif expérimental de confinement magnétique) ITER devrait fonctionner avant la fin de la décennie et prouver la pertinence de cette technique.



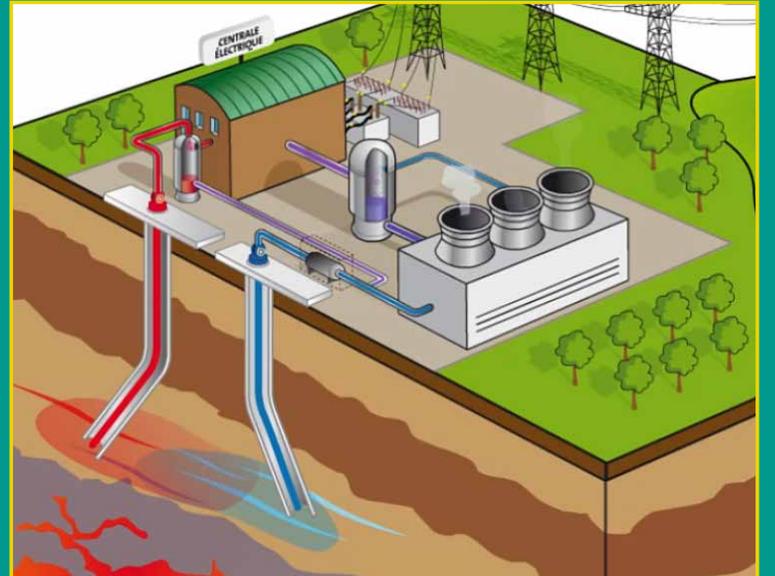
LA GÉOTHERMIE

Le fonctionnement

La géothermie ("chaleur de la terre") se présente sous forme de **réservoirs profonds** de vapeur, d'eaux chaudes ou encore de roches chaudes.

Si le réservoir géothermique est à une température modérée, cette ressource est exploitée directement pour de la production de chaleur distribuée dans les habitations. Si la température du réservoir est élevée, elle permet de produire de la vapeur, et donc de l'électricité.

Le bassin parisien est riche en énergie géothermique.



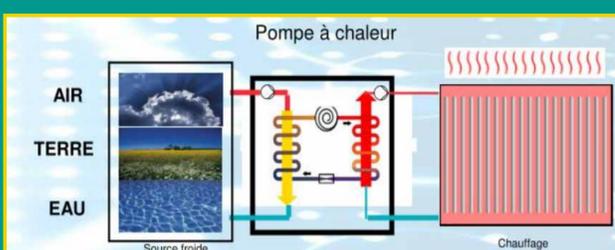
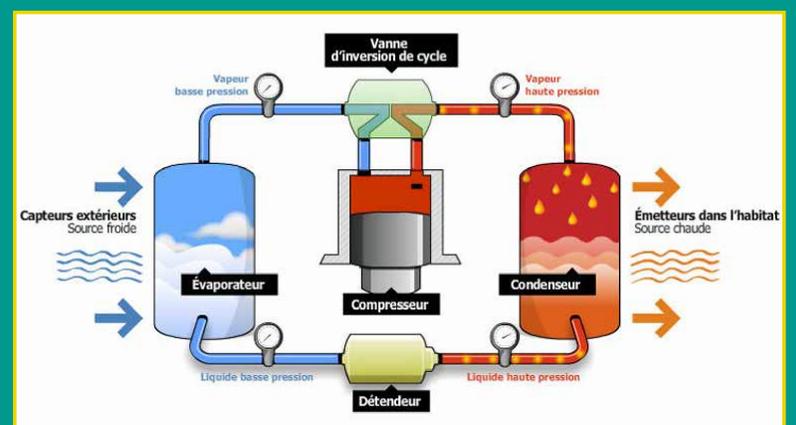
La géothermie est connue des hommes depuis très longtemps.

La France accueille depuis le XV^e siècle, à Chaudes Aigues (Cantal) le système de chauffage urbain géothermique le plus ancien du monde. Les sources fournissent de l'eau à plus de 80° C.

LES POMPES À CHALEUR

Une pompe à chaleur est un système qui **transfère de l'énergie** provenant des éléments qui nous entourent (eau, air, terre) **d'un niveau de température bas à un niveau plus élevé**.

La pompe à chaleur fonctionne de la même manière qu'un réfrigérateur, mais en inversant les sources chaudes et froides.



Le transfert d'énergie se fait avec un **liquide frigorigène*** qui a la propriété de changer d'état dans l'évaporateur en passant de phase liquide à gazeuse en captant de l'énergie sur la source froide (évaporation).

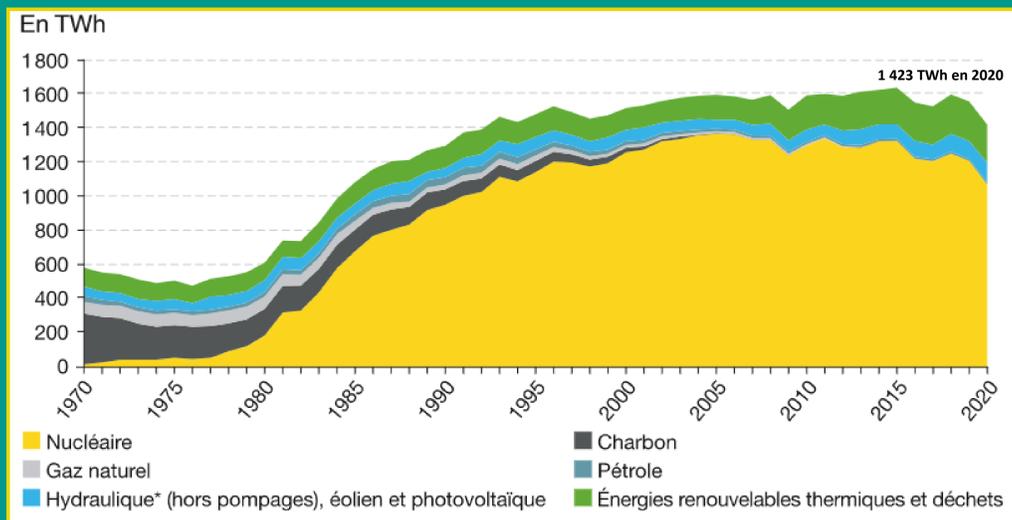
Cette énergie contenue dans le liquide frigorigène en phase gazeuse est ensuite comprimée par le compresseur qui en augmente la température et la pression.

C'est l'énergie électrique utilisée par le compresseur qui, finalement, est transférée au liquide frigorigène.

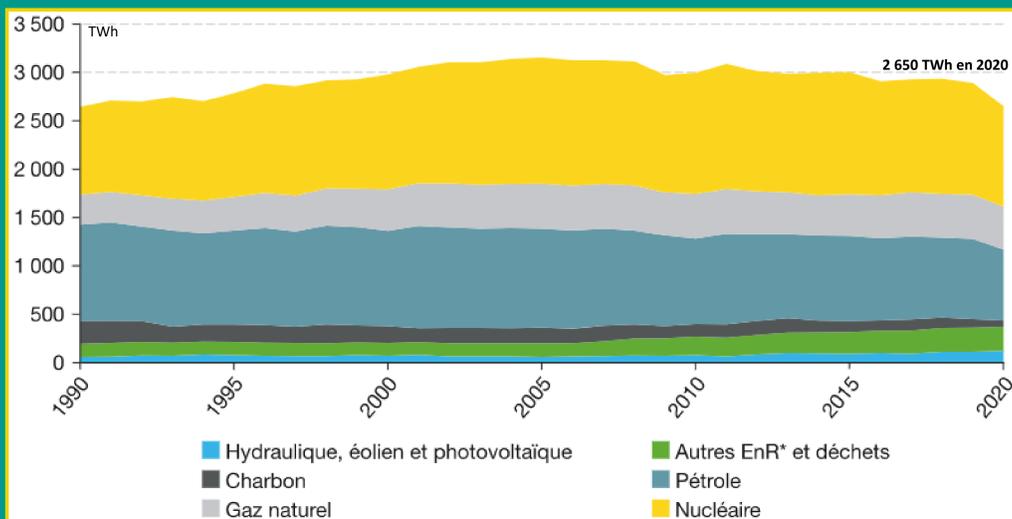
Le condenseur permet un transfert de cette énergie vers le circuit de chauffage en passant le fluide frigorigène de l'état gazeux à l'état liquide (condensation).

* frigorigène : qui abaisse la température

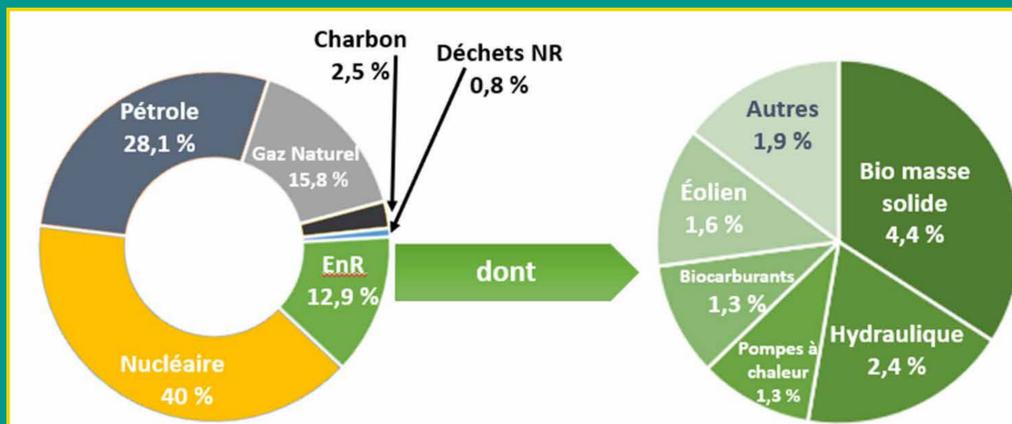
PRODUCTION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE EN FRANCE



CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE EN FRANCE



RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE EN FRANCE EN 2020



ÉNERGIE ET ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE CYCLE DE VIE INCLUS (EN KG ÉQUIVALENT PÉTROLE PAR TEP)



LA BIOMASSE

La **biomasse** est constituée par l'ensemble des **matières organiques d'origine végétale** (feuilles, fleurs, branches, troncs, racines ou résidus alimentaires comme les épluchures de fruits et légumes) **ou d'origine animale** (cadavres d'animaux en décomposition) qui peuvent se transformer en énergie.

Ce terme a été inventé en 1966.

Sa **valorisation énergétique** permet de réduire la dépendance aux énergies fossiles, pétrole ou gaz. Elle se présente sous des formes variées :

- solide (copeaux de bois, bûches...)
- liquide (huiles végétales, bioalcools)
- gazeuse (biogaz)



La diversité des matières organiques la constituant permet à de nombreux pays d'avoir accès à cette ressource. Elle peut donc favoriser leur indépendance énergétique.

**C'EST UNE ÉNERGIE "RENOUVELABLE"
TANT QUE SON RENOUVELLEMENT EST AU MOINS ÉGAL À SA CONSOMMATION.**



Si tu coupes les arbres d'une forêt sans laisser le temps à celle-ci de se régénérer, pose-toi la question de savoir s'il s'agit vraiment d'une énergie renouvelable !

En 2019, la biomasse fournit près de 10% des besoins mondiaux en énergie. En 2010, deux tiers de la consommation mondiale d'énergie issue de la biomasse étaient consacrés à la cuisine et au chauffage dans les pays en voie de développement (en Afrique par exemple). Hors consommation domestique, les principaux pays dans le monde ayant recours à la biomasse sont le Brésil, les États-Unis et l'Inde.

Mais pour produire de l'énergie, il faut de grandes quantités de biomasse, car son pouvoir calorifique (la chaleur dégagée par sa combustion) n'est globalement pas très élevé :

- Paille : 14,3 MJ/kg
- Bois (dans la nature) : 10,8 MJ/kg
- Déchets urbains ou agricoles, comme la bagasse (résidu fibreux de la canne à sucre) : 7,77 MJ/kg

Tu me
donnes
quelques
définitions ?



Le **pouvoir calorifique supérieur (PCS)** désigne le dégagement maximal théorique de chaleur qu'on peut tirer d'un combustible lors de sa combustion.

Le **pouvoir calorifique inférieur (PCI)** ne prend pas en compte la chaleur de condensation de la vapeur d'eau qui se dégage lors de la combustion.

VALORISATION DE LA BIOMASSE

La biomasse peut être valorisée selon 3 types de procédés :

1/ LA VOIE SÈCHE qui met en œuvre différentes technologies :

- **la combustion** : la biomasse (des ordures ménagères par exemple) est brûlée en présence d'air. La chaleur dégagée, vapeur ou eau chaude, peut être utilisée par les industries ou les réseaux urbains. Cette technique permet également de produire de l'électricité.
- **la gazéification** : réalisée dans un réacteur spécifique, le **gazogène**. La biomasse solide est transformée en un gaz combustible sous l'action de gaz réactants (vapeur d'eau, air, oxygène, dioxyde de carbone...). Ce gaz, après épuration et filtration peut être brûlé dans un moteur à combustion, celui d'un véhicule à "gazogène" par exemple, pour la production d'énergie mécanique.
- **la pyrolyse** : décomposition de la biomasse sous l'action de la chaleur, en absence d'oxygène. On obtient ainsi un solide (le charbon de bois par exemple), un liquide (les huiles pyrolytiques) ou un gaz combustible.

Ces procédés sont parfois polluants !



2/ LA VOIE HUMIDE :

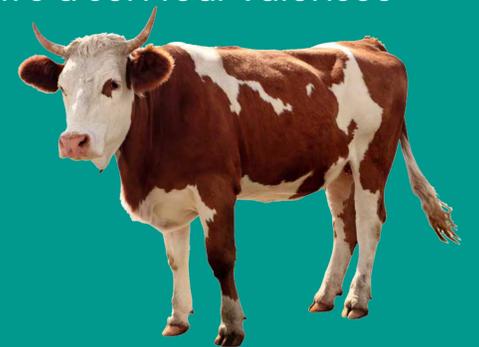
C'est une technologie appliquée pour la **méthanisation** où la biomasse est **dégradée biologiquement par des micro-organismes**. Cette opération s'effectue dans un digesteur ou méthaniseur chauffé et en absence d'oxygène (réaction **anaérobie**).

Ce procédé permet de produire :

- **un biogaz combustible** : le méthane (CH_4) (ainsi que du CO_2 et parfois des impuretés). Ce biogaz peut être brûlé sur son lieu de production pour produire chaleur et électricité; purifié en biométhane utilisé dans les véhicules ou réinjecté dans le réseau de distribution du gaz naturel.
- **le digestat** : il s'agit d'une boue résiduelle non biodégradable mais qui peut être à son tour valorisée en déchets combustibles ou en amendements agricoles.



La méthanisation se produit aussi de façon naturelle dans certains milieux humides (marais, décharges...) ou dans le tractus digestif des ruminants (la vache !).



3/ LA PRODUCTION D'AGROCARBURANTS :

Les carburants sont des combustibles liquides le plus souvent mais aussi gazeux qui, mélangés à l'air, sont **inflammables** et peuvent être utilisés dans un moteur à explosion (celui des voitures à essence ou gazole) pour leur fournir leur **énergie**. Les **agrocarburants** sont issus des filières agricoles. Il en existe 3 générations :

- **1^{ère} génération** : produits à partir de diverses cultures agricoles riches en sucres ou en huiles.
- **2^{ème} génération** : produits à partir des résidus non alimentaires des cultures (paille, tiges, bois).
- **3^{ème} génération** : produits à partir d'hydrogène produit par des micro-organismes ou à partir d'acides gras produits par des microalgues.

A l'inverse des biocarburants de 1^{ère} génération, ceux de 2^{ème} et 3^{ème} générations ne sont pas "en compétition" avec les cultures agricoles destinées à l'alimentation des l'homme ou des animaux.



ÉNERGIE ET BIO-INSPIRATION

La Nature et ses représentants de la flore et de la faune dits "sauvages" ont développé de multiples stratagèmes pour se nourrir, se déplacer, se défendre, se loger... Depuis des siècles, l'Homme s'est inspiré de ces trésors d'ingéniosité pour créer des inventions qui lui sont très utiles.

C'est le **Bio-mimétisme** (du grec bios "vie" et mimêsis "imitation").

Plus récemment, on doit à la scientifique américaine Janine Beynius, grande défenseuse de l'environnement, le développement de nouvelles méthodes de recherche et de réflexion qui permettent de mieux respecter la nature et les matières premières. J. Beynius préconise de s'inspirer du fonctionnement de la nature pour créer des produits durables, en évitant de générer des déchets et en utilisant moins d'énergie.

On parle alors de **Bio-inspiration**.

Et pour l'énergie en particulier, tu as des exemples ?

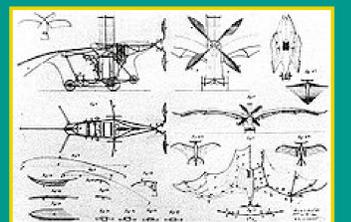


Bien sûr ! Les espèces vivantes dans la nature doivent faire avec les moyens du bord sans recours aux énergies fossiles (charbons, pétrole, gaz) mais uniquement aux énergies renouvelables (soleil, vent, biomasse...), tout en développant des stratégies qui leur permettent d'économiser l'énergie dont elles ont besoin.

En voici quelques-unes développées par les plantes ou les animaux et qui sont appliquées par l'Homme dans le domaine du transport, de l'habitat ou de l'optimisation des nouvelles sources d'énergie.

DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS :

Un des précurseurs du bio-mimétisme, **Léonard de Vinci**, au XV^e siècle, s'est beaucoup inspiré de la Nature et en particulier des oiseaux, la forme de leurs ailes ou de leurs plumes, pour bâtir ses premières machines volantes. Clément Ader est le premier à avoir fait décoller une machine équipée d'un moteur, l'Éole, dont les ailes avaient été dessinées sur le modèle de celles des chauves-souris (en 1890).



Depuis, l'observation de la nature n'a pas cessé d'inspirer les ingénieurs afin d'optimiser leurs machines et en particulier de diminuer leur consommation en énergie !



Les rémiges des **vautours**, ces grandes plumes qui permettent aux oiseaux de voler, sont dirigées vers l'extérieur et l'arrière de l'aile en se recouvrant. Elles peuvent aussi s'écarter pour réduire la résistance de l'air, propriété qui a inspiré les ingénieurs aéronautiques à munir les extrémités des ailes de leurs avions d'une ailette mobile, ce qui permettrait un gain d'énergie proche de 5%.

Le **martin-pêcheur** est un oiseau muni d'un très long bec. Pour pêcher, il plonge dans l'eau à très grande vitesse, le bec en avant, dans le plus grand silence et sans une seule éclaboussure. Les ingénieurs japonais s'en sont inspiré pour améliorer le bruit perçu à l'intérieur de leur train à grande vitesse, le Shinkansen, et atténuer la surpression douloureuse pour les oreilles à l'entrée et à la sortie des tunnels. Le nouveau "design" de la locomotive, à l'avant allongé comme un bec, a permis un gain de vitesse de 10% et une réduction de 15% de l'énergie consommée.



La peau d'un **requin des Galapagos** est recouverte de petites écailles très flexibles qui optimisent ses déplacements en économisant son énergie. Ce principe est actuellement testé pour les revêtements de coques d'avions ou de bateaux.



ÉNERGIE ET BIO-INSPIRATION

DANS LE DOMAINE DE L'HABITAT :

La Nature a inspiré les architectes pour des modèles d'architecture et de nouveaux matériaux de construction :



La **Corbeille de Vénus** ou Euplectella est une éponge marine dont le squelette est formé de fibres très fines qui l'attachent au fond de l'océan. Ce squelette forme un grillage qui laisse passer la nourriture et les courants. La structure du **Swiss Re Building**, un immeuble de bureaux situé en plein cœur de **Londres** surnommé le "concombre" en raison de sa forme allongée, s'inspire de ce squelette. L'architecte a ainsi optimisé le système de ventilation et la distribution de la lumière naturelle. Ce qui permet des gains notables d'énergie.

Les **termites** vivent en communauté dans des **termitières**, des buttes de terre percées de galeries. Chaque butte est naturellement climatisée grâce à une circulation de l'air chaud évacué par des hautes cheminées qui la surplombent, et un courant frais venu des galeries souterraines. A Harare, au **Zimbabwe**, où la température ambiante varie de quelques degrés la nuit à des canicules dépassant 40° C durant la journée, l'immeuble EastGate a été édifié, en s'inspirant de leur fonctionnement. Cette ventilation naturelle permet de maintenir les températures intérieures stables et une réelle économie d'énergie.



Le noir absorbe la lumière (et la chaleur) et le blanc la réfléchit. La robe du **zèbre** alterne ces deux teintes pour permettre à l'air de circuler des parties froides aux parties chaudes et créer ainsi un **courant d'air rafraîchissant**. Ce principe est appliqué au Japon pour peindre les façades des logements et ainsi économiser de l'énergie pour la climatisation.

Les **manchots de l'Antarctique** subsistent dans des conditions de température excessivement basses en se regroupant en cercle, en particulier pendant la période de couvain des œufs. Cette technique leur permet de **réduire considérablement leurs pertes d'énergie** et de tenir ainsi pendant plusieurs mois. Ce principe "**d'îlots de chaleur**" a été utilisé pour la conception de bâtiments dans les régions froides, en particulier en Russie (Skolkovo Innovation Center).



Les **feuilles des végétaux** se répartissent sur les tiges et les branches de façon à **optimiser leur exposition à la lumière** (en minimisant les ombres portées d'une branche à l'autre par exemple) ou à réduire la prise au vent. Cette organisation (ou phyllotaxie) suit des règles mathématiques bien précises. Un algorithme biomathématique a ainsi été mis au point par le **cabinet IN SITU**, à Lyon, pour proposer des bâtiments bio-inspirés dont l'implantation et l'orientation reprennent ces règles afin d'optimiser les apports de lumière.

OPTIMISATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES :

Comment économiser de l'énergie ?



Certains animaux marins, comme l'**anguille**, se déplacent par des **mouvements d'ondulation**. **Eel Energy** s'est inspirée de cette technique pour équiper des **hydroliennes** qui produisent de l'énergie à partir des courants en convertissant l'**énergie hydrocinétique** en **énergie mécanique** puis **électrique** grâce à une membrane qui optimise le transfert d'énergie par couplage fluide/structure. Cette nouvelle technologie, plus efficace que les turbines classiques à hélice, bénéficie d'un cofinancement par l'Union européenne.

Le bord des nageoires de la **baleine à bosse**, à la différence de celles des autres baleines, est couvert d'excroissances. Entre ces "tubercules", les flux d'eau peuvent mieux s'écouler quand ce mastodonte (plus de 30 tonnes) fait des bonds hors de l'eau. La **société canadienne Whale Power** s'est inspirée de cet aérodynamisme pour optimiser le design des **pâles d'éoliennes** avec un gain énergétique de 20% par rapport aux éoliennes classiques. Cette technique est également utilisée pour les ventilateurs industriels ou pour refroidir les ordinateurs.

