

De l'énergie à l'électricité

Kit pédagogique





Sommaire

Edito	page 3
1. Histoire de l'énergie	page 4
2. L'énergie dans le monde aujourd'hui	page 6
3. L'électricité, qu'est-ce que c'est ?	page 7
4. La circulation des électrons dans un circuit : le courant électrique	page 8
5. Le principe de production de l'électricité	page 9
6. Les unités de mesure	page 10
7. Les différents types de centrales de production électrique	page 11
8. Les centrales thermiques à flamme	page 12
9. Les centrales nucléaires	page 13
10. Les centrales hydrauliques	page 14
11. Les autres énergies renouvelables	page 15
12. Le transport et la distribution de l'électricité	page 16
13. L'installation électrique et la sécurité	page 17
14. Les usages domestiques de l'électricité	page 18
15. La consommation d'électricité à la maison	page 19
16. Réduire sa consommation d'électricité	page 20
17. Le développement durable	page 21
18. La maîtrise de la demande d'énergie	page 22
Adresses et bibliographie - corrigé des mots croisés	page 23

+

Le kit « **De l'énergie... à l'électricité** » est destiné aux classes du cycle III. Il peut aussi être utilisé en collège avec des classes de 6^{ème} et 5^{ème}.

Il a été conçu pour vous apporter une aide dans votre approche du thème de l'énergie et plus particulièrement de l'électricité, ainsi que dans la sensibilisation de vos élèves au **développement durable**.

Ce kit comporte :

- **Un livret pour l'enseignant**, livret de documentation, destiné à vous donner les informations nécessaires à la préparation de vos cours. Vous choisirez les thématiques que vous souhaitez aborder.
- **16 fiches-ateliers** : ce sont des exercices à proposer à la classe, au fur et à mesure de votre progression. Elles ont été imprimées en une seule couleur en prévision de la photocopie. 2 sont plutôt destinées au collège (conçues en fonction des programmes).
- **Un DVD « Voyage en électricité »** comprenant 39 films d'animations, d'une durée de 5 minutes environ : l'histoire de la conquête des énergies qui, aujourd'hui, permettent de produire de l'électricité.
- **Un poster** : un paysage représentant les divers moyens de production de l'électricité, les lignes de transport et les lieux de consommation.

Les pistes de travail que nous vous proposons, et les fiches-ateliers vous permettront de travailler de façon transversale, en proposant des activités de français (lecture, rédaction, vocabulaire), de mathématiques (exercices de calcul), et de sciences.

Nous espérons répondre à vos attentes et vous invitons à visiter le site <http://enseignants.edf.com> fréquemment actualisé.

1. Histoire de l'énergie

Depuis toujours, l'homme a utilisé l'énergie :

- la sienne d'abord, **l'énergie musculaire**, qui lui permet de se déplacer, de chasser, de tailler des outils...
- puis celle des animaux, pour porter, tirer, puis plus tard, lorsque seront inventés l'attelage et la roue, pour transporter hommes et marchandises sur des chariots.

L'homme a aussi à certaines époques utilisé la force d'autres hommes : les esclaves qui ont construit les pyramides en Egypte, les prisonniers qui ramaient sur les galères...

Dès la Préhistoire l'homme a tenté de maîtriser **l'énergie du bois**, pour faire du feu afin de se chauffer, de cuire ses aliments, et d'éloigner les bêtes sauvages.

Mais il savait conserver le feu avant de savoir l'allumer, ce qui donnait lieu à des combats entre tribus. Plus tard, il utilisera aussi le feu pour cuire des poteries, forger des métaux.

L'énergie de l'eau et du vent est également utilisée par l'homme depuis des millénaires :

- roues en bois entraînées par la force d'une rivière ou la chute d'une cascade, qui permettent d'irriguer des champs, de faire tourner des scieries...
- utilisation du vent pour pousser les voiles d'abord, puis pour faire tourner les moulins pour moulinier le grain, les olives...

Dès le Moyen-Age, **le charbon** commence à être utilisé pour se chauffer, mais il faut attendre la révolution industrielle (2^{ème} moitié du XVIII^{ème} siècle) et l'invention de la machine à vapeur pour que cette source d'énergie se développe. Les industries s'installent à proximité des bassins houillers, et les premières locomotives et bateaux à vapeur commencent à circuler.

A partir du XIX^{ème} siècle, **le pétrole**, connu depuis l'Antiquité, est exploité à l'échelle industrielle : c'est la ruée de l'or noir. Il est d'abord utilisé pour se chauffer avant que l'invention du moteur à explosion, et donc le développement de l'industrie automobile, n'en fasse l'énergie la plus consommée dans le monde.

Une autre énergie, **le gaz naturel**, connue des Japonais depuis le VII^{ème} siècle, ne se développe vraiment qu'au XX^{ème} siècle. Il ne s'agit pas du gaz manufacturé qui était utilisé notamment pour l'éclairage depuis 1850, mais bien du gaz naturel que l'on trouve dans des gisements souterrains ou sous-marins.

A partir de 1957, le gisement de Lacq (dans le Sud-Ouest de la France) est mis en exploitation.

L'électricité existe à l'état naturel (la foudre), mais ce n'est qu'en 1800 que l'italien Volta découvre le moyen de produire un courant électrique : c'est la première pile électrique.

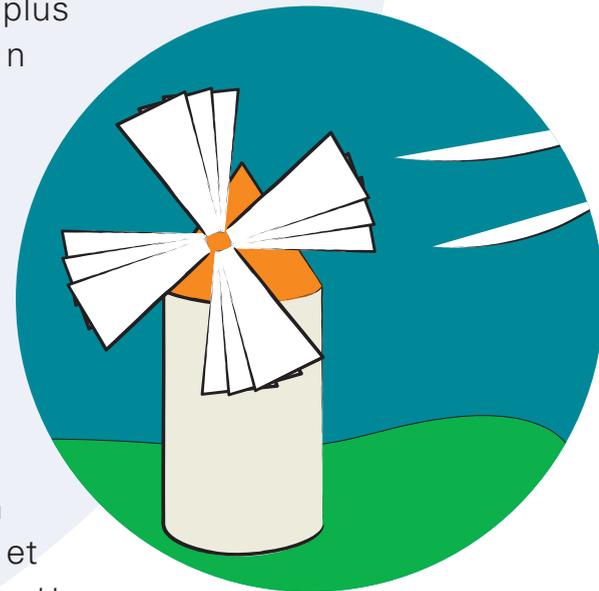
Quelques années plus tard, le physicien anglais Faraday donne le principe du moteur électrique, à l'origine des génératrices.

Il faut ensuite attendre la fin du XIX^{ème} siècle pour que se répande (en Europe de l'ouest et aux Etats-Unis) cette énergie, produite dans des centrales thermiques à charbon d'abord, puis plus tard au fuel.

La première centrale hydroélectrique (utilisant la force de l'eau) date en France de 1883 (elle alimente la ville de Grenoble).

C'est ce qu'on appelle la **houille blanche**.

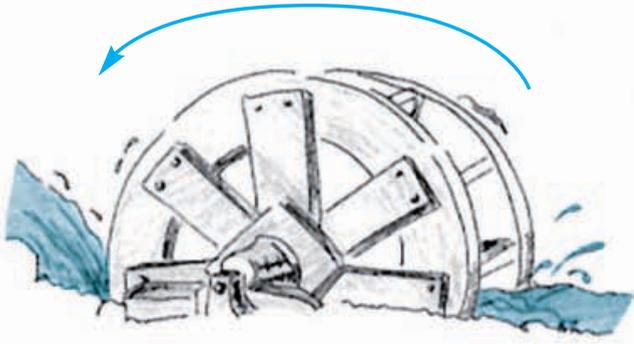
L'électricité est aujourd'hui une énergie indispensable.



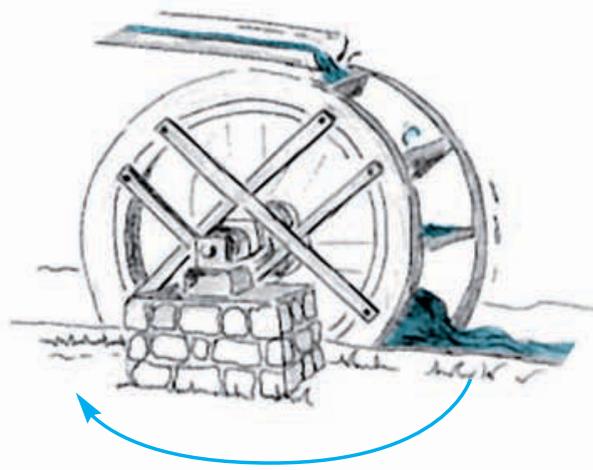
Le saviez-vous ?

"Energie"
vient du grec **energeia**
En : dans
Ergon : action

Roues à eau



L'eau qui passe entraîne la roue.



L'eau qui tombe fait tourner la roue.

On peut classer les différentes énergies :

• les énergies fossiles :

ce sont le charbon, le pétrole et le gaz naturel, issus de la décomposition de micro-organismes, qui se sont formés pendant de très longues périodes géologiques, en grande profondeur. Ils sont exploités depuis un siècle et demi.

Les réserves sont estimées entre 40 et 50 ans pour le pétrole, 70 ans pour le gaz et plus de 200 ans pour le charbon.

Les hydrocarbures, gaz et pétrole, sont assez mal répartis à la surface de la Terre :

- au Moyen-Orient : 65% des réserves de pétrole et 35% des réserves de gaz naturel,
- dans l'ex-URSS : 35% des réserves de gaz naturel.

• les énergies indéfiniment renouvelables :

l'énergie hydraulique issue du cycle de l'eau, l'énergie solaire, l'énergie éolienne issue du vent, l'énergie obtenue de la biomasse (combustion du bois ou de déchets végétaux), et enfin l'énergie géothermique, provenant de la chaleur de la terre.

• l'énergie nucléaire

que l'homme obtient grâce à sa connaissance de la structure de la matière et à sa haute technologie. Elle utilise l'uranium, un minerai très abondant (les réserves sont estimées à 200 ans pour un coût d'extraction inférieur à 80 \$ la tonne d'uranium).

Ce minerai est assez bien réparti dans le monde.

Pistes pédagogiques

1. Faire faire aux élèves une recherche sur les utilisations les plus anciennes de l'énergie dans leur région : moulin à eau, moulin à vent, scierie utilisant la force de la rivière...

2. Placer sur une frise chronologique les grandes innovations technologiques dans le domaine de l'énergie : machine à vapeur, éclairage au gaz, première voiture, premier tramway électrique, premier métro à Londres puis à Paris, électrification des grandes villes, construction de grands barrages en France...

2. L'énergie dans le monde aujourd'hui

Après l'ère du charbon, énergie utilisée jusque dans les années 50 de façon massive dans l'industrie, les transports, et pour le chauffage domestique, nous sommes aujourd'hui dans l'**ère du pétrole**, et ce pour quelques dizaines d'années encore.

C'est l'énergie la plus utilisée dans le monde, du fait notamment de la consommation dans les transports.

La consommation d'énergie a beaucoup augmenté depuis l'Antiquité, accompagnant les différentes étapes du développement.

Mais tous les habitants de la planète ne consomment pas autant d'énergie :

1/4 des habitants les plus riches consomment les 2/3 de l'énergie.

La consommation d'énergie par habitant avec l'accès à la scolarisation et à la santé est retenue comme indice de développement par l'ONU.

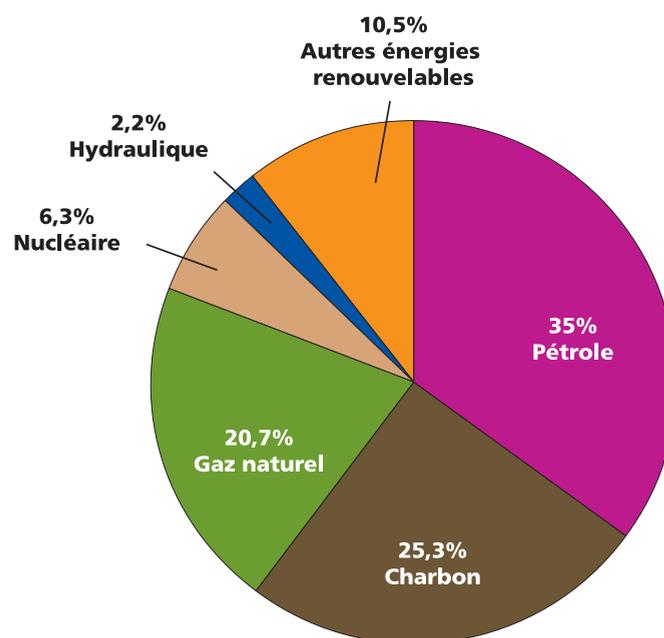
Or sans électricité, il n'y a pas de développement possible : mauvaises conditions de conservation des médicaments et vaccins, difficulté d'accès à l'éducation et à la culture, absence de télécommunications (TV, téléphone et Internet).

Le saviez-vous ?

Si l'on considère que la consommation mondiale d'énergie était de 1 à l'époque romaine, elle était de 3 sous Napoléon 1^{er}, et atteint 500 aujourd'hui !

1 habitant sur 3 (soit 2 milliards d'hommes) n'a pas accès à l'électricité.

Structure de la production mondiale d'électricité en 2005 (source : AIE/OCDE)



L'accès au développement des pays émergents, notamment la Chine et l'Inde, nécessite des quantités toujours plus importantes d'énergie.

La consommation mondiale d'énergie ne cesse de croître, tirée par la croissance économique très rapide de ces pays et les besoins d'une population très nombreuse. Dans les pays industrialisés, l'augmentation de la consommation d'énergie se poursuit, mais à un rythme plus lent.

D'après l'AIE (l'Agence internationale de l'énergie), **la demande d'énergie va progresser de 65% d'ici 2030**, et la demande d'électricité va doubler.

Pistes pédagogiques

Faire réfléchir les élèves sur les usages spécifiques de l'électricité. Certaines énergies sont substituables : on peut remplacer le pétrole dans les voitures par des « carburants verts », ou utiliser des véhicules électriques. On peut cuisiner sur une cuisinière à bois, à gaz ou électrique. On peut se chauffer avec différents moyens, mais pour certains usages, l'électricité est aujourd'hui indispensable.

- Dans le domaine de la santé (conservation au froid des aliments et des médicaments, possibilité pour les médecins de pouvoir intervenir à toute heure du jour et de la nuit, fonctionnement des hôpitaux et dispensaires).
- Dans le domaine de l'éducation, de la diffusion du savoir et de l'information (radio, téléphone, télévision, Internet...).
- Dans le domaine de la sécurité (éclairage des villes).
- Et dans celui du confort domestique (appareils électroménagers).

3. L'électricité, qu'est-ce que c'est ?

L'électricité que nous utilisons tous les jours est invisible. Le courant électrique, qui circule dans des câbles, est en fait un déplacement d'électrons.

Les électrons sont des particules d'atomes, des sortes de « grains » d'électricité chargés d'électricité négative. Ils tournent autour du noyau de l'atome, qui est, lui, chargé positivement. La charge de l'atome est donc neutre, les charges positives du noyau et négatives des électrons s'annulent.

Un corps peut s'électriser si, à la suite d'une influence extérieure, le nombre d'électrons est insuffisant ou au contraire excédentaire.

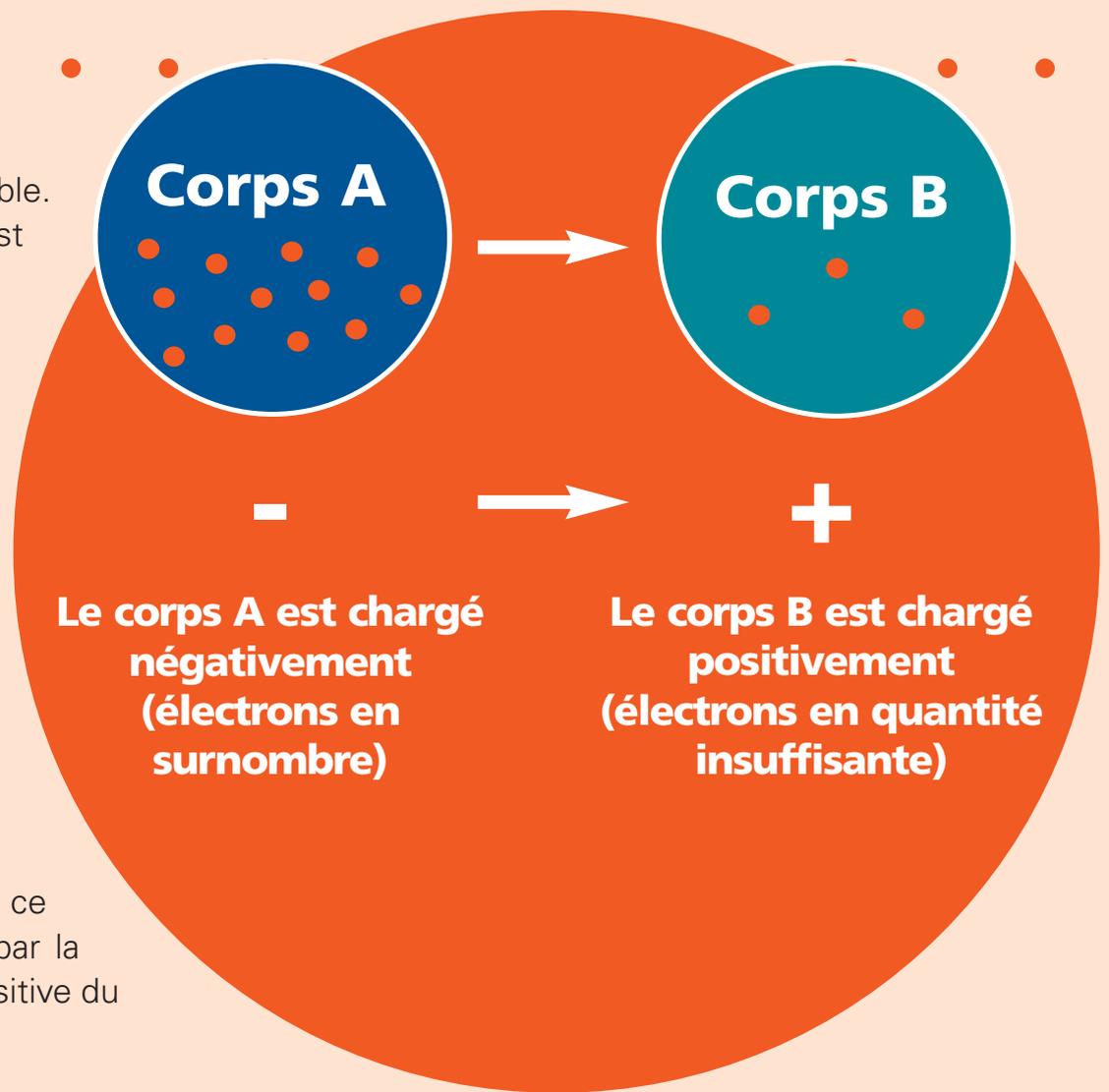
On relie deux corps A et B par un fil métallique ; dans ce fil, les électrons sont mobiles : ils sont repoussés par la charge négative du corps A et attirés par la charge positive du corps B.

Ils passent donc du corps A au corps B, on dit qu'un **courant électrique** circule de A à B.

Ce déplacement d'électrons peut être créé par un phénomène naturel (la foudre par exemple), ou par des génératrices, qui « génèrent » ce déplacement

- mécaniquement (dynamo, alternateur),
- ou chimiquement (piles, batteries).

Certains matériaux sont conducteurs, les métaux par exemple : ils conduisent mieux l'électricité que d'autres. D'autres sont isolants, comme le bois, ils ne conduisent pas l'électricité.



Pistes pédagogiques

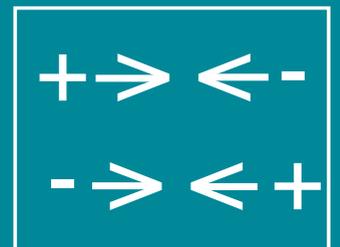
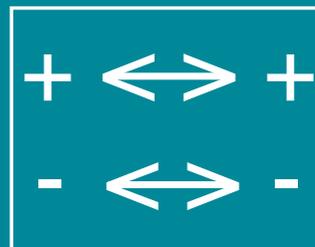
Expérience à faire réaliser par les élèves.

Objectif : permettre aux enfants de « visualiser » une manifestation de l'électricité : l'électricité statique.

Le frottement de leur règle en plastique sur un chiffon de laine va exciter des électrons, qui vont être arrachés au chiffon et captés par la règle, qui devient ainsi chargée d'électricité négative. Les boulettes de papier sont attirées par la règle, à laquelle elles restent collées quelques instants.

Des électrons passent de la règle aux boulettes de papier, qui se chargent positivement.

Des éléments chargés du même signe se repoussent, tandis que des éléments de signe contraire s'attirent.



4. La circulation des électrons dans un circuit : le courant électrique

Pour créer le courant électrique, 3 éléments sont nécessaires :

- une génératrice pour créer le déplacement des électrons ;
- des conducteurs, pour permettre la circulation du courant électrique ;
- des récepteurs, c'est-à-dire des appareils placés dans le circuit, qui utilisent le courant électrique.

Le circuit ne peut pas fonctionner sans récepteur.

On ne peut pas relier le pôle négatif au pôle positif directement : ceci provoquerait un court-circuit.

La génératrice : il s'agit d'une sorte de pompe, qui aspire et refoule les électrons. Ce déséquilibre, qui modifie la charge des atomes, met les électrons en mouvement, et crée le courant électrique.

Les électrons partent donc d'un point A, le pôle négatif, et reviennent au point B, le pôle positif.

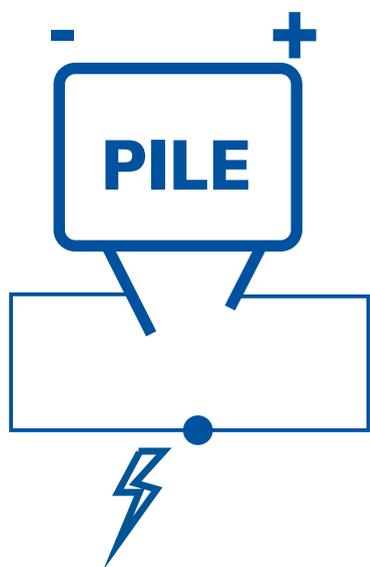
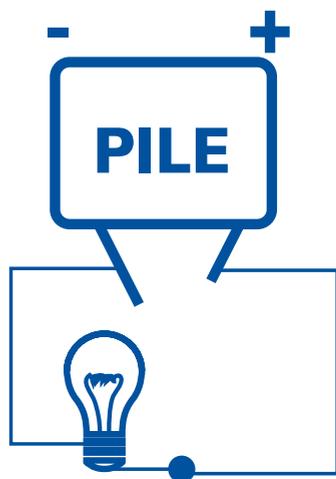
Les conducteurs (fils électriques, métalliques) laissent passer le courant électrique, de la génératrice vers les appareils qui consomment l'électricité.

Les récepteurs sont alimentés par les conducteurs. Le courant électrique peut produire :

- un effet thermique (lumière, chaleur),
- un effet mécanique (faire tourner un moteur),
- un effet chimique (accumuler de l'énergie dans une batterie).

On peut placer sur le circuit un interrupteur :

- s'il arrête le passage des électrons : le circuit est ouvert,
- s'il permet le passage des électrons : le circuit est fermé.



Pistes pédagogiques

Objectif : faire comprendre aux élèves que certains matériaux sont conducteurs, d'autres isolants.

Matériel nécessaire :

- une pile plate de 4,5 volts,
- une petite ampoule,
- 2 pailles, 2 clés, 2 règles en plastique, 2 coton-tige, 2 morceaux de fil électrique...

Relier les pôles de la pile à l'ampoule au moyen des divers accessoires. L'ampoule s'allume ou non, selon que l'accessoire utilisé conduit ou non l'électricité.

5. Le principe de production de l'électricité

Pistes pédagogiques

Le principe du circuit électrique vu précédemment existe en grandeur réelle :

- les usines de production d'électricité sont les génératrices,
- le réseau de transport représente les conducteurs du circuit,
- les industries, les moyens de transport électrique (TGV, tramway, métro...), le secteur tertiaire (bureaux, écoles, hôpitaux...) et les particuliers, qui tous utilisent l'électricité, constituent les récepteurs.

Comment ça marche ?

1. Production mécanique

La génératrice est composée d'une **turbine** couplée à un **alternateur**, qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

L'alternateur se compose d'un aimant tournant, le **rotor**, et d'une partie fixe, faite de plusieurs bobines de cuivre, le **stator**.

Le rotor est un aimant qui tourne à grande vitesse à l'intérieur des bobines de cuivre (matériau conducteur), arrachant des électrons qui génèrent le courant électrique.

La **turbine** tourne, entraînée par l'eau, la vapeur ou le vent. C'est le principe de la dynamo.

2. Production photovoltaïque

La lumière est transformée en électricité lorsque le rayonnement solaire frappe les cellules des panneaux composés de matériaux semi-conducteurs, libérant ainsi des électrons, dont le mouvement produit du courant électrique. C'est ce qu'on appelle des panneaux solaires, ou panneaux photovoltaïques.

Ce système peut être couplé à des batteries, pour stocker l'électricité produite pendant la journée.

3. Production chimique

On peut aussi produire de l'électricité dans une **pile** : c'est une réaction chimique qui génère le courant électrique. Ce système permet de produire de l'électricité de façon autonome, partout, mais en quantité réduite et pour des appareils ne nécessitant pas une puissance importante (lampes de poche, jouets, calculatrices, montres...). Les piles doivent être renouvelées fréquemment.

L'électricité peut être stockée dans des accumulateurs rechargeables, soit sur le réseau électrique (batterie de caméra vidéo), soit à l'aide d'une génératrice (c'est le cas dans les voitures, les batteries se rechargent lorsque le moteur thermique tourne).

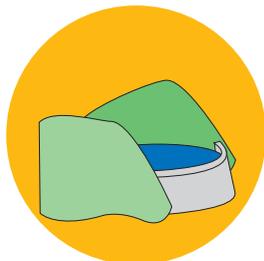
Mais quel que soit le mode de production, **l'électricité ne peut être stockée qu'en quantité limitée.**

- Identifier sur le poster les différents moyens de production qui transforment de l'énergie mécanique en énergie électrique.

- Quelle est, pour chacun d'entre eux, l'énergie qui entraîne la turbine ?

- Recenser les usages connus de la pile électrique ou de la batterie.

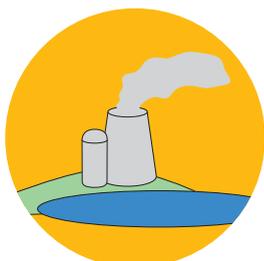
Eau
(chute d'eau, fort débit ou marée)



Vent



Pétrole, charbon, gaz
(combustion)
Nucléaire
(fission)
Biomasse
(combustion)



Force de l'eau

Force du vent

Vapeur sous pression

Turbine

Alternateur

Courant électrique

Le saviez-vous ?
La production d'électricité par des panneaux photovoltaïques ne nécessite ni turbine, ni alternateur.

Pistes pédagogiques

- Visionner avec la classe le film « Entre moins et plus » de Voyage en électricité 1. Il permet de revoir les notions de circuit, circulation des électrons, génératrice et récepteur, et différence de potentiel (mesurée en volts).
- Demander aux enfants d'apporter des emballages d'appareils électriques (ampoules, sèche-cheveux, rasoirs, jeux vidéo...) ou des notices techniques. Identifier les unités de mesure de l'électricité qui y figurent : puissance en watts, obligation d'utiliser un transformateur pour la tension...



6. Les unités de mesure

Trois unités sont employées pour mesurer l'électricité, c'est-à-dire pour définir la quantité de courant qui circule dans un circuit, ou qui est consommée par un appareil.

Le watt est l'unité qui mesure la puissance d'un appareil, c'est-à-dire sa capacité à effectuer un travail. Une ampoule de 100 W éclaire mieux qu'une ampoule de 40 W.

On utilise souvent les multiples du watt : le kW, le mégawatt (MW, 1 million de watts), le gigawatt (GW, 1 milliard de watts) et le térawatt (TW, 1 milliard de kW).

La quantité de watts consommés pendant une heure est le kWh. Cette unité sert à mesurer la consommation de chaque foyer, et à établir la facture correspondante.

Au niveau d'un site de production, on utilise le MW, c'est-à-dire le million de watts : une centrale hydraulique a une puissance d'environ 300 MW.



La production française d'électricité s'exprime en TWh : 544 TWh produits en 2007.

Le volt mesure la tension, c'est-à-dire la différence de charge entre l'élément positif et l'élément négatif d'un circuit. L'électricité est transportée en 400 000 volts ou 400 kV. A la maison, la tension est de 230 volts.

L'ampère : c'est la mesure de l'intensité, c'est-à-dire la quantité d'électrons qui passe dans un circuit à un moment donné. Plus le nombre d'électrons est élevé, plus l'intensité est forte. On peut la comparer au débit d'un tuyau. L'intensité se mesure à l'aide d'un ampèremètre. La quantité d'électricité disponible sur une installation est fonction de l'intensité au compteur. Le fusible sert à couper le courant, c'est-à-dire à interrompre la circulation des électrons dès que l'intensité devient trop élevée.

La puissance est fonction de l'intensité et de la tension :

$$P \text{ (en w)} = A \text{ (intensité)} \times V \text{ (tension)}$$

Une tension de 230 V et une intensité de 10 A permettent d'obtenir une puissance de 2300 W.

Le saviez-vous ?

John Watt, ingénieur écossais (1736 - 1819) construisit en 1769 la première machine à vapeur vraiment utilisable.

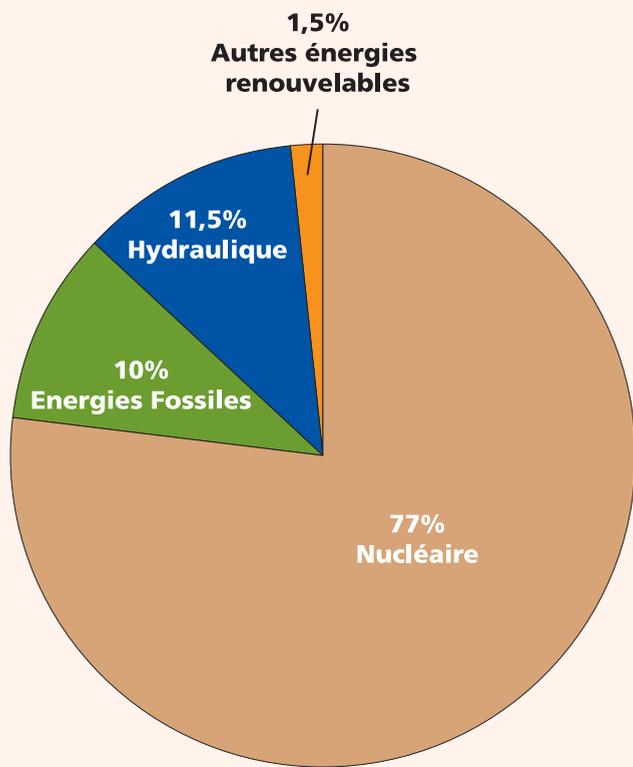
Alessandro Volta, physicien italien (1745 - 1827) est l'inventeur de la première pile électrique (1800).

André-Marie Ampère est né à Lyon en 1775. Ce mathématicien est à l'origine de la découverte de l'électromagnétisme (1820).

7. Les différents types de centrales de production électrique

Répartition de la production d'électricité en France en 2007

(source : Observatoire de l'énergie)



La France n'a plus de ressources fossiles (les gisements de charbon et de gaz naturel sont épuisés). Après la seconde guerre mondiale des installations hydrauliques ont été construites sur tous les cours d'eau qui le permettaient, et depuis les années 1970, la France s'est progressivement dotée d'un parc de centrales nucléaires, afin d'assurer son indépendance énergétique.

Aujourd'hui les centrales nucléaires et les centrales hydrauliques au fil de l'eau assurent la base de la production, c'est-à-dire qu'elles produisent de l'électricité 24 h sur 24, tous les jours de l'année.

Si l'une de ces installations doit être arrêtée pour une opération de maintenance par exemple, il faut aussitôt faire démarrer d'autres installations de puissance équivalente, pour maintenir la production au niveau suffisant.

Le complément de production (heures de pointe, chute brutale de la température extérieure...) est assuré par les centrales hydrauliques de chute, et

éventuellement par des centrales thermiques à flamme.

En 2007, 77% de l'électricité est produite dans des centrales nucléaires.

89% de la production française d'électricité est assurée par EDF.

Pistes pédagogiques

travail sur le poster

Objectif : traiter une information complexe.

1. Faire l'inventaire sur le poster des utilisations de l'électricité : au premier plan du poster, la ville, les lumières des habitations, les établissements publics (hôpital, lycée, mairie...), les usines, les moyens de transport, les loisirs...

2. D'où vient cette électricité ?

3. Repérer les barrages, la centrale nucléaire, la centrale thermique à charbon, les éoliennes, le panneau photovoltaïque (sur l'île).

4. Faire observer les lignes électriques, nécessaires pour acheminer l'électricité des lieux de production vers les lieux de consommation.



8. Les centrales thermiques à flamme

Elles utilisent des combustibles fossiles (charbon, pétrole ou gaz naturel) dont la combustion produit de la chaleur, qui permet de transformer de l'eau en vapeur. Cette vapeur sous pression est envoyée sur la turbine qui tourne, entraînant l'alternateur, et produisant ainsi de l'électricité.

Cette vapeur, refroidie dans un condenseur qui utilise de l'eau froide puisée dans la rivière, est renvoyée dans le circuit.

C'est le moyen le plus utilisé dans le monde : **67% de l'électricité mondiale est produite dans des centrales thermiques à flamme.**

Avantages : c'est un moyen de production souple, c'est-à-dire qui permet de démarrer la production d'électricité très rapidement.

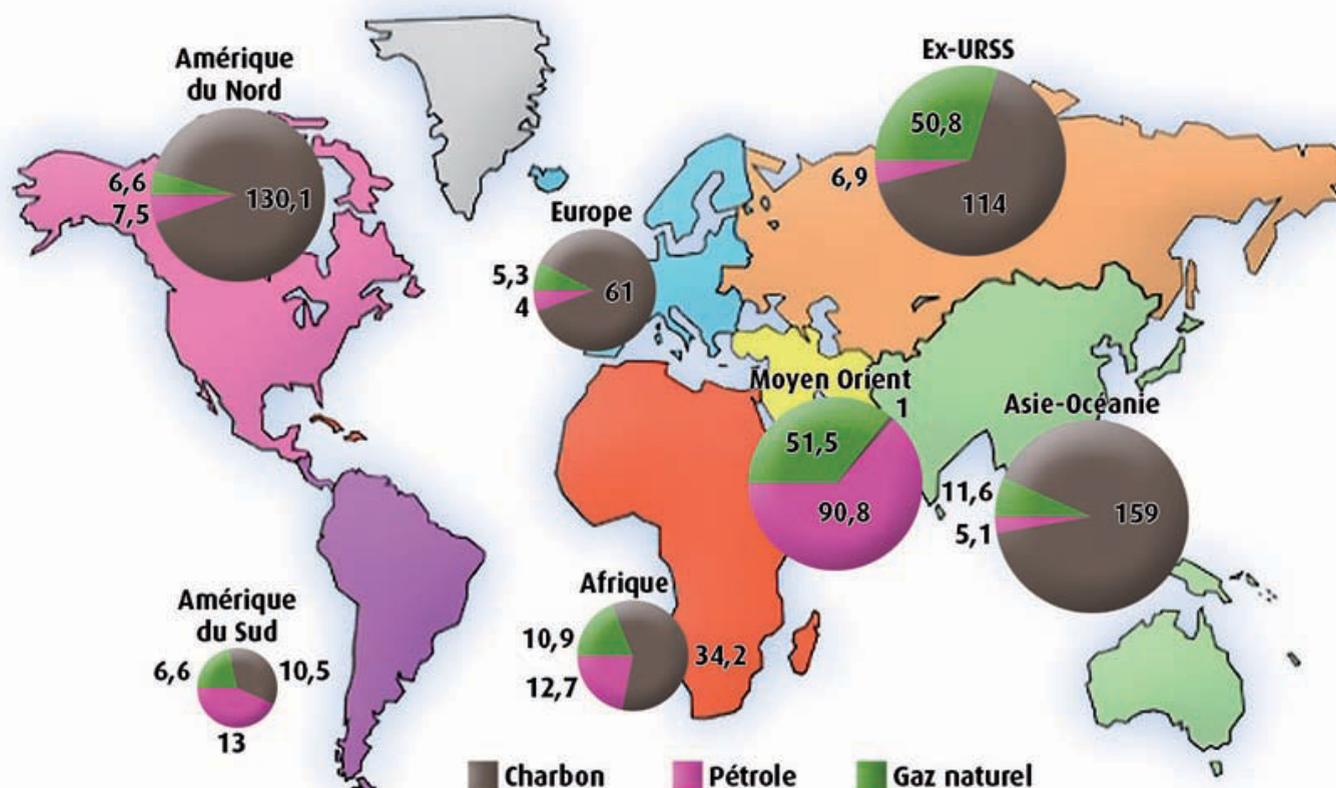
En France, ces centrales sont utilisées essentiellement en complément des installations nucléaires et hydrauliques. Cet appoint permet de réguler la production d'électricité lorsque les besoins sont importants (période de grand froid).

Inconvénients : ces centrales nécessitent un approvisionnement en combustibles fossiles, donc non renouvelables (que la France doit importer), et sont très polluantes : si l'on sait aujourd'hui piéger la majeure partie des gaz polluants (oxydes de soufre et oxydes d'azote) contenus dans les fumées, on ne sait pas capter le dioxyde de carbone (CO₂) produit lors de la combustion de ces énergies.

Le CO₂ est l'un des principaux gaz responsables de l'aggravation de l'effet de serre.



Des réserves en énergies fossiles plus ou moins bien réparties



Source : Observatoire de l'énergie d'après CME-DIREM
 Réserves estimées en Gtep (milliards de tonnes équivalent pétrole)

9. Les centrales nucléaires

En France, en 2007, elles produisent 77% de l'électricité.

Ce sont également des centrales thermiques, mais leur conception est différente de celle des centrales utilisant des énergies fossiles.

Le combustible utilisé est de **l'uranium**, qui n'est pas brûlé (l'appellation « combustible » est en fait impropre), mais 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 (c'est ce qu'on appelle la radioactivité).

La chaleur : elle permet de faire chauffer de l'eau à 300°C, sous pression (l'eau ne se transforme pas en vapeur), dans le circuit primaire de la centrale, un circuit fermé.

Par échange thermique dans le générateur de vapeur, cette 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.

La radioactivité : le dégagement de chaleur s'accompagne d'émissions de rayonnements, dont il faut se protéger. Trois barrières successives font écran entre les rayonnements et l'environnement :

- La gaine du combustible, c'est-à-dire des tubes dans lesquels sont enfermées des pastilles d'uranium.
- La cuve du réacteur, en acier, dans laquelle se produit la réaction de fission.
- L'enceinte de confinement en béton, qui constitue le bâtiment réacteur.

Le saviez-vous ?

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 ;
- la redondance des barrières qui assure le confinement de la radioactivité ;
- la formation du personnel, la maintenance des installations et les contrôles permanents.

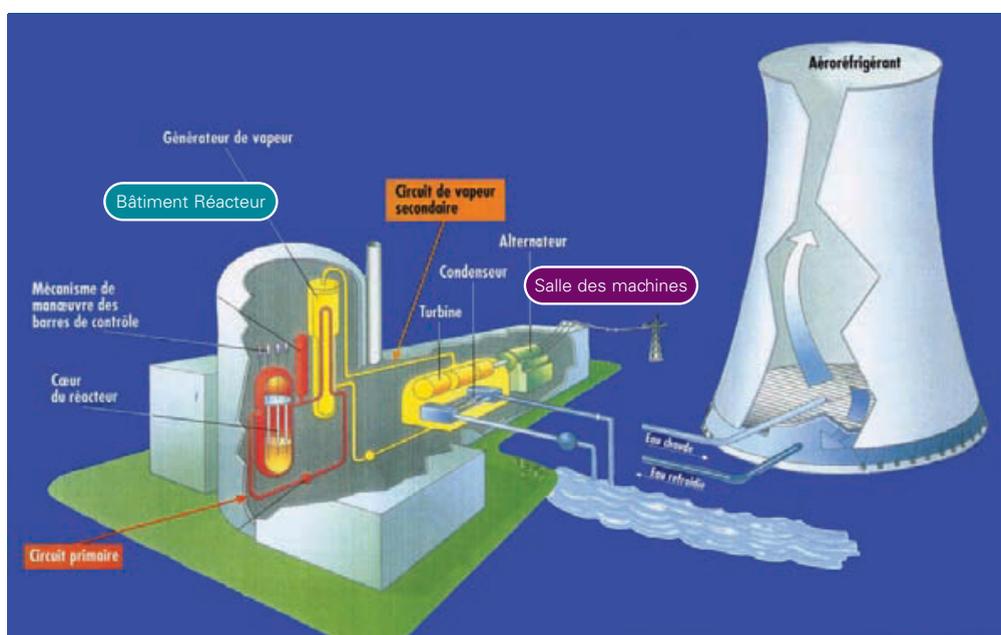
Les atouts : les centrales nucléaires constituent un moyen de production d'électricité particulièrement puissant, à un coût intéressant. Elles assurent l'indépendance énergétique de la France et ne provoquent aucun rejet de gaz à effet de serre (CO₂).

Les contraintes : la fission de l'uranium dans les réacteurs nucléaires génère des déchets radioactifs, qu'il faut gérer pour qu'ils n'aient pas de conséquences nuisibles pour l'environnement.

L'essentiel de ces déchets (déchets de très faible, faible et moyenne activité à vie courte, soit 90% du volume) est stocké de façon sûre, dans le département de l'Aube, par l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs).

Les déchets à vie longue (10% du volume total) sont actuellement entreposés par Areva à l'usine de La Hague dans le Cotentin. La loi de 2006 relative à la gestion des déchets radioactifs à vie longue a décidé de poursuivre les recherches entreprises depuis 1991, avant d'adopter une solution définitive de stockage.

Un calendrier a été établi pour chacune des voies de recherche, pour un développement à l'échelle industrielle entre 2015 et 2025.



10. Les centrales hydrauliques

Les centrales hydrauliques utilisent la force de l'eau :

- celle d'une chute d'eau créée artificiellement par un barrage,
- celle du courant d'un fleuve à fort débit,
- celle des marées.

La force de l'eau dépend à la fois de la hauteur de la chute d'eau et de la quantité d'eau disponible, c'est-à-dire du débit de la rivière. La puissance de l'usine hydroélectrique dépend donc de ces deux paramètres :

On peut écrire : $P = h \times q$

P (puissance)

h (hauteur de chute en mètres)

q (débit de la rivière en m³/s)

Il existe des **centrales de haute chute**, dans les zones montagneuses. Le débit des torrents est en général faible, mais la hauteur de chute entre le lac de retenue d'eau et l'usine est importante. L'eau est amenée par une conduite forcée.

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 usines sont généralement situées au pied du barrage.

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 du fleuve très fort. Elles sont souvent équipées d'écluses, qui permettent aux bateaux de franchir le dénivelé.

L'électricité hydraulique représente en 2007 **11,5 % de la production française**, avec plus de 550 centrales.

Les avantages :

Ce moyen de production est très souple : il suffit de lâcher de l'eau sur les turbines pour produire instantanément de l'électricité. On peut donc utiliser les barrages pour fournir aux heures de pointe l'électricité nécessaire. C'est une **énergie renouvelable** : grâce au cycle de l'eau, les lacs de retenue des barrages sont régulièrement alimentés par la pluie ou la fonte des neiges.

C'est une **énergie propre** : le fonctionnement des usines de production ne génère aucune pollution. Enfin, si l'on ne peut stocker l'électricité, on peut stocker l'eau, c'est-à-dire constituer des réserves d'électricité potentielle.

EDF n'est pas propriétaire mais gestionnaire de l'eau pour tous les autres usagers : les pêcheurs, les agriculteurs, les touristes...

Attention, danger ! Lorsque les centrales hydrauliques fonctionnent pour répondre au besoin de production d'électricité, on doit lâcher de l'eau dans la rivière. Le niveau de l'eau à l'aval des installations peut monter très rapidement. Il est très dangereux de s'aventurer dans le lit des torrents à l'aval des installations hydrauliques.



Le saviez-vous ?

La France dispose de **l'une des seules usines marémotrices du monde**, installée sur la Rance près de Saint Malo en Bretagne. Il faut en effet un très fort coefficient de marée pour que les turbines puissent produire de l'électricité, à marée montante et à marée descendante.

Pistes pédagogiques

1. Faire calculer par les élèves la puissance d'un barrage en faisant varier la hauteur de la chute et le débit de la rivière. On peut produire la même quantité d'électricité, égale à 400, dans 3 centrales différentes, avec des hauteurs de chute et des débits de rivières différents.

	P	h	q
Centrale de haute chute	400	80	5
Centrale de moyenne chute	400	10	40
Centrale de basse chute	400	4	100

2. Situer sur une carte de France les zones géographiques qui ont été équipées de centrales de production hydraulique : les Alpes, les Pyrénées, le Massif central, les grands fleuves que sont le Rhin et le Rhône, et l'estuaire de la Rance.

3. Répondre aux questions suivantes :

- Où trouve-t-on plutôt les centrales de haute, moyenne et basse chute ?
- Pourquoi n'y a-t-il pas de centrales hydroélectriques sur la Seine ?
- En quelle saison les lacs de barrages en montagne sont-ils pleins ? Pourquoi ?

11. Les autres énergies renouvelables

Le vent, le soleil, la biomasse et la géothermie sont d'autres sources d'énergie, elles aussi renouvelables.



On peut utiliser **la force du vent** en

installant des éoliennes : la turbine est ainsi entraînée et l'alternateur produit de l'électricité.

Mais il faut pour cela des vents stables et réguliers, et un autre moyen de production en complément pour les jours où il n'y a pas de vent !

En moyenne une installation éolienne fonctionne 1 jour sur 3.

Les éoliennes que l'on construit actuellement en France ont une puissance de 3 MW, ce qui permet d'alimenter environ 5 000 habitants (les jours où le vent souffle dans les conditions nécessaires).



Le soleil permet de produire de l'électricité grâce aux panneaux photovoltaïques, mais il faut 1 m² de panneau pour produire environ 140 W.

Ce mode de production est intéressant pour équiper des sites isolés : en France, 600 lieux (refuges de montagne, bergeries isolées, petites îles en mer...) sont ainsi équipés. Dans les pays où il n'y a pas de réseau électrique, ce système permet d'apporter dans des villages un équipement minimum.

Le saviez-vous ?

Ces énergies renouvelables se développent rapidement mais ne contribuent encore que pour une faible part (1,5%) à la production d'électricité en France. Elles présentent l'avantage d'être gratuites en ce qui concerne l'approvisionnement (soleil et vent), mais les installations coûtent cher, et elles ne sont pas disponibles en permanence.

Elles peuvent cependant représenter un complément intéressant, d'autant plus que ce sont des énergies propres, dont l'utilisation ne génère pas d'émissions de gaz à effet de serre.

Le Conseil européen de mars 2007 a décidé de porter à 20% d'ici 2020 la part d'électricité d'origine renouvelable, en vue de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La chaleur du soleil peut aussi être utilisée pour chauffer de l'eau : des habitations, des hôtels utilisent ce système pour produire l'eau chaude sanitaire (à 15 ou 20°C), à condition bien sûr de disposer d'un moyen complémentaire pour porter la température de l'eau au niveau souhaité (50°C environ).

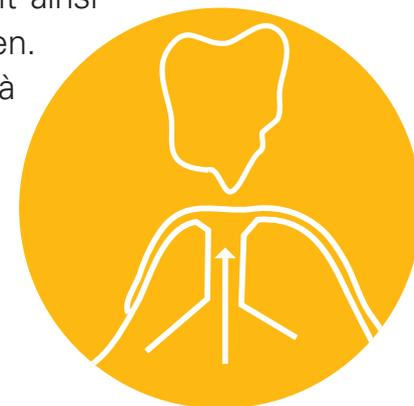
La biomasse : il s'agit du bois, et de tous les déchets, animaux et végétaux : déchets de scierie, déchets agricoles, déchets ménagers...

C'est l'énergie utilisée depuis toujours, et encore aujourd'hui dans des régions où c'est la seule ressource disponible. C'est une énergie renouvelable à condition que les forêts soient replantées.



La chaleur du centre de la terre peut, sous certaines conditions (de température et de pression), être utilisée pour produire de l'électricité : c'est le cas en Islande, ou encore en Guadeloupe (Centrale de Bouillante). C'est ce qu'on appelle **la géothermie**.

Mais plus fréquemment on récupère cette chaleur, à plus ou moins grande profondeur, pour chauffer des locaux. Des habitations collectives sont ainsi chauffées dans le Bassin parisien. Le système des pompes à chaleur se développe aussi en habitat individuel.



Pistes pédagogiques

Vous pouvez télécharger sur le site internet d'EDF, dans Panorama de l'électricité, des photos montrant ces différentes centrales électriques : <http://enseignants.edf.com>

Objectif : montrer aux enfants la dimension des installations, en sélectionnant une ou deux centrales nucléaires, des barrages de type différent (haute, moyenne et basse chute), une centrale thermique avec son stock de charbon ou ses réservoirs de pétrole, des éoliennes, des panneaux photovoltaïques...

12. Le transport et la distribution de l'électricité

Il ne suffit pas de produire de l'électricité, encore faut-il la transporter vers les lieux de consommation, au moment où l'on en a besoin, puisque **l'électricité ne peut être stockée** !

En France, l'ensemble des sites de production est connecté au **réseau de transport**, ce que l'on pourrait appeler les autoroutes de l'électricité. Toutes ces lignes sont interconnectées, formant une gigantesque toile d'araignée.

Ce sont des **lignes à très haute tension (THT)**, à 400 000 et 225 000 volts, puis à proximité des agglomérations, des usines, ou des réseaux de chemin de fer des **lignes à haute tension (HT)** à 90 000 ou 63 000 volts.

Ces lignes desservent l'ensemble du territoire, et sont reliées au réseau électrique des pays voisins, permettant ainsi d'assurer la stabilité du réseau, la sécurité d'approvisionnement en cas de défaillance d'un des pays, ainsi que les échanges commerciaux. Ce réseau est à la disposition de l'ensemble des producteurs et fournisseurs d'électricité.

RTE, une filiale d'EDF, propriétaire de ce réseau public de transport d'électricité, bénéficie d'une indépendance totale de gestion.

A chaque instant, ce réseau de très haute et haute tension est piloté depuis des centres de répartition qui adaptent en permanence la production d'électricité à la demande. Celle-ci varie selon les heures de la journée, les écarts de température, l'ensoleillement...

ERDF, une autre filiale d'EDF, gère le **réseau de distribution** que l'on pourrait comparer au réseau des routes secondaires. Il achemine l'électricité vers les utilisateurs, quel que soit leur fournisseur d'électricité, grâce à des **lignes de moyenne tension** (20 000 volts), pour parvenir jusqu'aux consommateurs **en basse tension** (380 et 230 volts).

Dans certains secteurs géographiques ce rôle est dévolu à des entreprises locales de distribution.

Progressivement depuis 2000, le marché de l'électricité en France s'est **ouvert à la concurrence** :

- les très gros clients (les industries consommant beaucoup d'électricité) ont eu les premiers le choix de leur fournisseur d'électricité ;
- puis au 1^{er} juillet 2004 ce fut le tour de l'ensemble des clients professionnels, des PME et des collectivités locales.



Carte du réseau de transport de l'électricité

- Depuis juillet 2007, l'ouverture du marché est totale : **chaque consommateur peut choisir son fournisseur d'électricité.**

EDF n'a plus le monopole de la fourniture d'électricité mais continue cependant d'assurer des **missions de service public** qui lui ont été confiées par la loi du 10 février 2000. Ainsi le coût d'acheminement de l'électricité reste identique sur l'ensemble du territoire (de même que le prix du timbre-poste est le même partout en France).

13. L'installation électrique et la sécurité

L'électricité nous assure un confort dans la vie quotidienne, permet le développement des loisirs, et contribue tous les jours à sauver des vies (notamment dans le domaine médical).

Mais comme toutes les formes d'énergie, **elle présente des risques si elle est mal utilisée**. Elle est

encore trop souvent la cause d'accidents graves : électrocutions, brûlures, incendies.

En effet, le corps humain est un bon conducteur de l'électricité, et les risques peuvent être évités si l'on utilise des matériels et équipements conformes aux normes de sécurité, et que l'on respecte quelques consignes.

Dans la maison 1. L'installation

L'électricité arrive au compteur équipé d'un disjoncteur, qui coupe automatiquement le courant en cas de danger (court-circuit, ou surcharge).

On peut couper soi-même le courant lorsqu'on part en vacances, ou en cas de travaux à réaliser sur l'installation électrique.

C'est de là que partent tous les fils qui alimentent les prises électriques, les lampes et les différents appareils, des circuits spécifiques étant prévus pour chacun de ces usages.

Chaque circuit est protégé par un coupe-circuit, dont le rôle est de couper le courant en cas d'échauffement si trop d'appareils (par rapport à la puissance disponible au compteur) fonctionnent en même temps. Ceci écarte le risque d'incendie.

Les fils doivent être isolés par des matériaux isolants (autrefois cordons textiles, aujourd'hui gaines en plastique). Toutes les prises doivent être reliées à la terre.

Quelques conseils :

- Veiller à toujours couper le courant à l'aide du disjoncteur avant toute intervention/réparation sur votre installation.
- Débrancher les appareils avant toute intervention (ex : changer une ampoule) ou nettoyage (ex : le mixer).
- N'utiliser aucun appareil (ni le sèche-cheveux ni même le téléphone) si l'on a les mains ou les pieds mouillés.
- Limiter l'usage des rallonges et des prises multiples.
- Surveiller bien sûr attentivement les jeunes enfants, ainsi que les animaux domestiques.

2. Le comportement

Le corps humain étant un bon conducteur, il y a un risque :

- chaque fois que l'on touche le fil aller et le fil retour, même si on est bien isolé du sol,
- ou que l'on ne touche qu'un seul fil mais que l'on est mal isolé du sol.

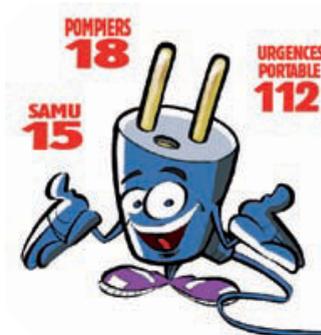
Attention ! L'eau est un bon conducteur, les pièces humides (cuisine, salle de bains) présentent donc des dangers particuliers.

A l'extérieur :

Les installations de transport et de distribution d'électricité peuvent présenter des dangers, même si elles paraissent à priori hors d'atteinte.

Les consignes :

- Ne jamais toucher un fil électrique tombé à terre, ni un véhicule ou une personne en contact avec ce fil.
- Etre très vigilant en cas de transport d'échelle ou autre grande pièce métallique à proximité d'une ligne.
- Veiller à ne pas être en contact avec une ligne par l'intermédiaire d'une canne à pêche ou d'un cerf-volant.
- Ne pas chercher à escalader les pylônes ou autres installations électriques.
- Ne pas entrer dans un poste électrique.



Pistes pédagogiques

1. Revenir sur les aspects conducteurs/isolants étudiés dans le chapitre sur les circuits.
2. Rappeler que le corps humain est conducteur et inventorier les situations à risque.

Pour en savoir plus, vous pouvez commander sur le site internet d'EDF :

<http://enseignants.edf.com>
le kit « Branche-toi sécurité ».

14. Les usages domestiques de l'électricité

La « Fée électricité » a envahi progressivement nos maisons, mais c'est surtout à partir des années 50 que la modernisation de nos habitations par l'équipement électrique est visible.

Au-delà de **l'éclairage**, usage déjà bien connu de l'électricité, c'est d'abord dans la cuisine que se produisent les changements, grâce à l'apparition d'un grand nombre d'appareils électroménagers qui modifient le style de vie. C'est l'explosion des arts ménagers.

C'est ainsi que l'électricité est utilisée pour le **chauffage** (chauffe-bains, radiateurs...) et donc la **cuisson** (bouilloire, cuisinière, four), mais aussi pour alimenter des **moteurs**, d'abord celui des machines à laver le linge, des réfrigérateurs, aspirateurs... et maintenant de bien d'autres appareils (mixer, robots ménagers...).

La radio est également rentrée chez nous, puis la télévision, appareil présent aujourd'hui dans la quasi-totalité des foyers. Depuis les années 90, l'ordinateur pénètre dans les familles, et grâce à Internet, **l'information** circule de plus en plus vite !

D'autres énergies sont bien sûr toujours présentes : si le charbon a pratiquement disparu des usages domestiques, le fuel et le gaz naturel, ainsi que, à un moindre degré le bois, sont bien sûr utilisés.

Il existe des habitations « tout électrique », mais on imagine mal, dans les pays riches, les « sans électricité » !

La consommation d'électricité domestique, c'est-à-dire celle des particuliers, a de ce fait augmenté de façon très importante : en France, elle **a été multipliée par 4 depuis 1973**.

Pistes pédagogiques

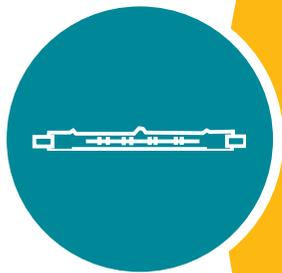
1. Faire identifier par les enfants à partir des appareils présents à la maison les usages de l'électricité : *lumière - chaleur/froid - moteur - information*
2. Faire l'inventaire des différents appareils électriques et les classer dans ces catégories.

éclairage

4 grandes catégories de lampes



- **les lampes à incandescence** : un fil de tungstène est porté à haute température par le passage du courant, et dégage ainsi une lumière d'autant plus vive que le fil est mince et l'intensité du courant élevée.



- **les lampes à gaz halogène** : ce sont des lampes à incandescence, dans l'atmosphère desquelles on a rajouté un composé de 2 gaz halogènes, qui améliorent l'efficacité lumineuse. Celles qui ne fonctionnent pas en basse tension (6, 12 ou 24 V) peuvent être très gourmandes en électricité.



- **les lampes fluorescentes** : la paroi intérieure de la lampe est revêtue d'une couche de poudre fluorescente, rendue lumineuse par le passage du courant. Elles consomment moins d'électricité dans le cas d'un allumage prolongé. Elles peuvent avoir une forme de tube, ou être compactes (lampe fluo-compacte). Elles coûtent plus cher à l'achat mais durent plus longtemps et permettent de faire de réelles économies d'électricité.

- **les LED** (diodes électroluminescentes) de couleur sont utilisées depuis quelques années déjà en lampes témoin, pour la signalisation et le balisage. Les LED blanches, qui cumulent performances d'éclairage et durée de vie (jusqu'à 100 000 heures), devraient contribuer à une baisse significative de notre consommation d'énergie.

15. La consommation d'électricité à la maison

Le niveau de consommation d'électricité par habitant reflète le niveau économique d'un pays : il s'agit non seulement de la consommation de chaque individu pour son usage personnel, mais aussi de celle des industries, des lieux publics, des transports... ramenée au nombre d'habitants.

Cependant, c'est aussi un bon indicateur du niveau d'équipement des ménages.

Notre consommation d'électricité est bien sûr fonction :

- du nombre de personnes par foyer,
- du mode de chauffage adopté,
- du nombre d'appareils électriques utilisés,
- de la durée quotidienne d'utilisation,
- de la puissance de ces appareils,
- et du climat.

En fonction de ces paramètres, l'abonnement souscrit permettra de disposer d'une puissance adaptée : de 3 kW, pour l'éclairage et la TV à 36 kW pour une très grande habitation tout électrique.

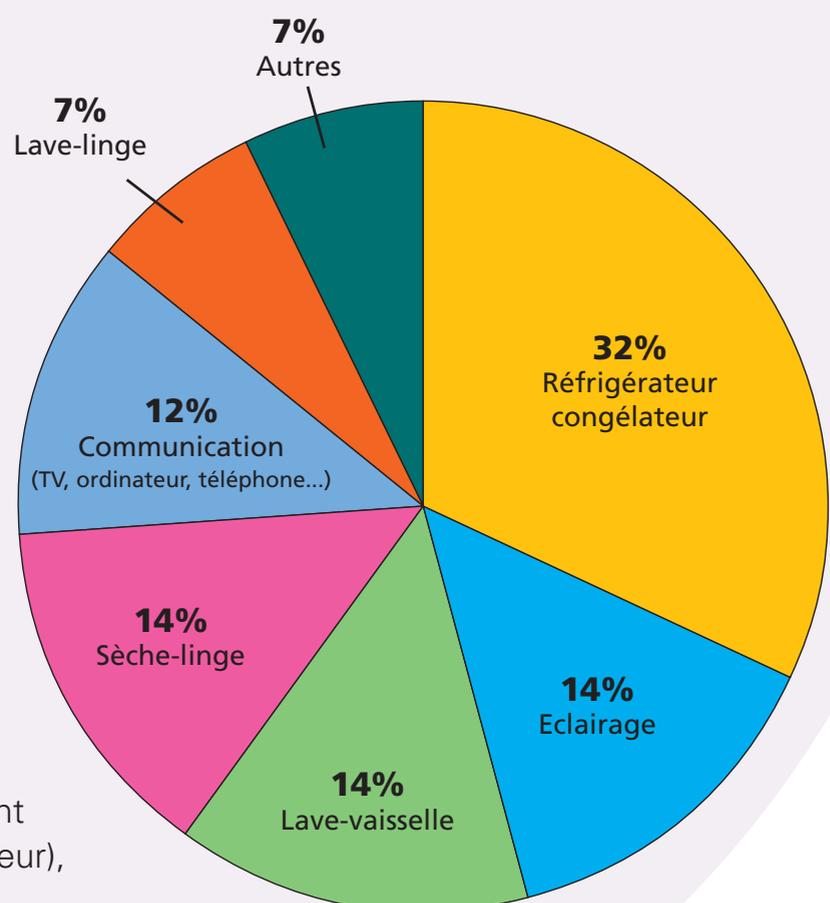
La consommation de chaque foyer est enregistrée par le **compteur**, placé traditionnellement à l'intérieur de l'appartement ou de la maison. Aujourd'hui, il est installé à l'extérieur et donc plus accessible.

La facture comprend :

- l'abonnement, nécessaire pour disposer de l'électricité,
- la consommation d'électricité, estimée ou déclarée par le client (établie une fois par an en fonction du relevé exact du compteur),
- la TVA,
- des taxes locales et départementales (prélevées pour le compte des collectivités locales et fixées par elles),
- la contribution au service public de l'électricité (CSPE), c'est-à-dire le financement de charges de service public : le soutien aux énergies renouvelables, les surcoûts de production en Corse et dans les DOM, et les charges de solidarité par rapport aux personnes en situation de précarité. Cette contribution est fixée par l'Etat.

Répartition de la consommation d'électricité à la maison hors chauffage

(source ADEME)



Pistes pédagogiques

La mesure de la consommation nécessite de croiser des unités différentes, la puissance des appareils en watts, ou en kW, et la durée d'utilisation en minutes ou en heures.

Une approche du système métrique est conseillée avant ce calcul.

Observer le compteur à l'école ou à la maison. Noter ce qui se passe : une petite roue qui tourne et des chiffres qui défilent. Que se passe-t-il si on éteint toutes les lumières ? Constaté les différences selon les situations : le four (électrique), la machine à laver, ou l'aspirateur fonctionnent...

Le compteur tourne-t-il toujours à la même vitesse ? Pourquoi ?

$$\begin{aligned} & \text{Abonnement} \\ & + \\ & \text{consommation en kWh} \\ & + \\ & \text{autres prestations (taxes)} \\ & = \\ & \text{le montant à régler} \end{aligned}$$

16. Réduire sa consommation d'électricité

La consommation d'électricité en France a plus que doublé en 30 ans,

passant de 150 TWh (milliards de kWh) en 1973 à 430 en 2007 (source : Observatoire de l'énergie – Ministère de l'industrie).

Le secteur résidentiel/tertiaire (c'est à dire nos habitations, les écoles, les hôpitaux, les bureaux, les commerces...) représente près des 2/3 de notre consommation d'électricité : c'est dire que nous sommes tous concernés et que **tous nous pouvons contribuer à la maîtrise de la consommation.**

Si pour réduire certains coûts, des investissements sont indispensables (c'est le cas de l'isolation de nos habitations), nous pouvons par nos seuls comportements et habitudes limiter notre consommation d'énergie, sans pour autant revenir au Moyen-Age !

- La consommation de nos **appareils ménagers** : tous les appareils sont munis d'une « étiquette énergie » ; les moins gourmands sont classés A ou B, les plus énergivores F ou G.

- Le seul fait d'**éteindre les veilles** sur les appareils électriques permet de réduire sensiblement sa consommation d'électricité.

- **La production d'eau chaude**, qu'elle soit électrique ou thermique, a un coût. Réglez le ballon d'eau chaude sur 60°C, c'est suffisant et optez pour la douche quotidienne plutôt que le bain.

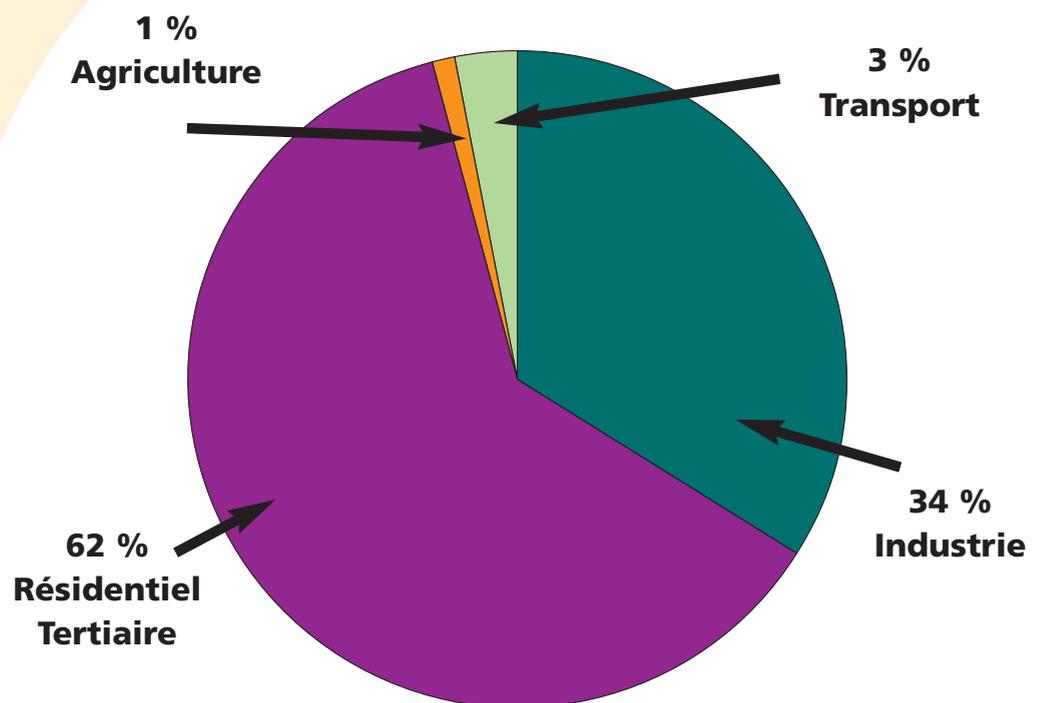
- L'utilisation du **lave-linge** et du **lave-vaisselle** est souvent quotidienne : l'optimisation du remplissage et le lavage à basse température (souvent suffisant) permettent des économies substantielles.

- **L'éclairage** représente 14% de notre facture d'électricité : le nettoyage régulier des ampoules et l'utilisation d'ampoules basse consommation pour un éclairage de longue durée ont un impact évident sur la facture.

- L'utilisation de couvercles sur les casseroles permet d'atteindre plus rapidement la température d'ébullition, et donc de réduire la durée de la cuisson.

- **Baissez la température** de quelques degrés avant de sortir (1°C en moins économise 7% d'énergie), et aérez 10 minutes, c'est suffisant.

Consommation d'électricité par secteur en France en 2006



Source : Observatoire de l'énergie. Ministère de l'Industrie.

Pistes pédagogiques

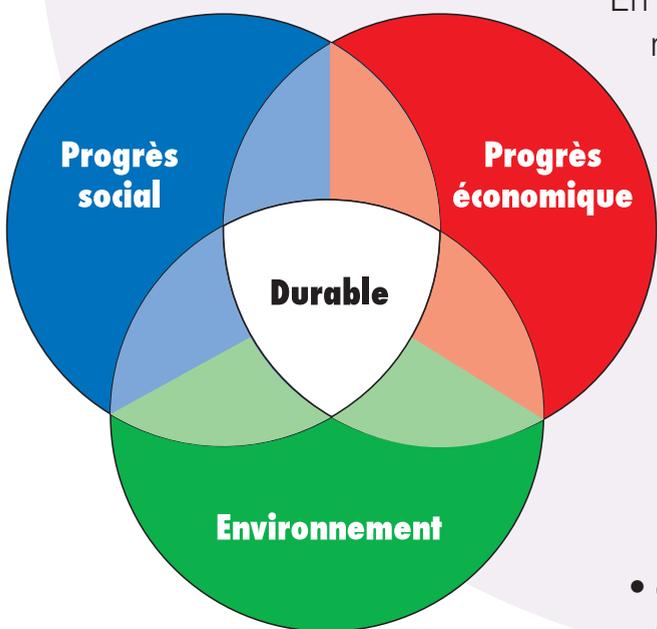
Amener la classe à prendre de bonnes résolutions : le comportement de la société est le reflet des comportements individuels.

- Nommer 1 élève responsable de l'extinction des lumières chaque semaine,
- Veiller à éteindre dans les toilettes, le gymnase...

17. Le développement durable

Lors du sommet de la Terre à Johannesburg (en Afrique du sud) en 2002, l'énergie (et plus spécialement l'électricité) a été désignée comme secteur prioritaire du développement durable.

Qu'est-ce que le développement durable ? Un modèle qui permet de concilier croissance économique, protection de l'environnement et progrès social.



En ce qui concerne l'électricité, l'objectif est de trouver des solutions pour répondre aux besoins de tous dans les années qui viennent, sans compromettre l'avenir de la planète, ni les chances des générations futures de satisfaire leurs propres besoins.

Pour y parvenir, il faut :

- maîtriser la consommation d'énergie,
- ne pas piller aujourd'hui les ressources fossiles sans penser à demain,
- privilégier les énergies propres, c'est-à-dire sans rejet de gaz à effet de serre (le CO₂ notamment),
- gérer de façon satisfaisante les déchets radioactifs, issus de la production électronucléaire,
- développer les énergies renouvelables,
- combiner en fonction des besoins l'utilisation des énergies les plus appropriées.

- permettre l'accès à l'électricité pour tous :

en France la loi impose à tous les fournisseurs

d'électricité le service maintien de l'énergie. Il s'agit de

laisser temporairement aux clients qui ne peuvent payer leur facture une puissance de 3 kW (pour l'éclairage, le réfrigérateur et un peu de chauffage), en attendant la prise en charge par les services sociaux du département.

En effet, aucune énergie ne pourra à elle seule répondre à la demande.

En France, 90% de l'électricité est produite sans rejet de gaz à effet de serre :

77,0 %	électricité d'origine nucléaire
+11,5 %	hydroélectricité
+ 1,5 %	électricité provenant des autres énergies renouvelables (éolien, solaire, biomasse)
90,0 %	

Rappel des données

Dans le monde, 1 habitant sur 3 n'a pas accès à l'électricité.

La population mondiale devrait augmenter de 30% d'ici 20 ans, passant de 6 à 8 milliards.

Cette croissance va affecter les pays en développement, où la population sera majoritairement urbaine.

De ce fait, la demande d'électricité devrait doubler d'ici 20 ans.

Pour y répondre, il faut envisager de construire en 20 ans autant de centrales électriques qu'au cours du XX^{ème} siècle.

18. La maîtrise de la demande, d'énergie

La consommation d'énergie dans le monde a été multipliée par 4 en 50 ans, et toutes les études prospectives montrent que cette progression va se poursuivre du fait de la croissance démographique et des besoins des pays en développement.

En France, la consommation d'énergie a augmenté de plus de 50% depuis 1973. Pourtant, à la suite du premier **choc pétrolier**, une politique d'économies d'énergie avait été mise en place en France : c'était « la chasse au gaspi ».

Mais les mauvaises habitudes reviennent au galop lorsqu'on les chasse !

Et la consommation d'énergie a continué à augmenter, consommation liée aux **transports** bien sûr (ce secteur dont la consommation a doublé depuis 1973, représente aujourd'hui 1/3 de notre consommation), mais également consommation du **secteur résidentiel-tertiaire**, c'est-à-dire celle des particuliers, des bâtiments administratifs, des écoles, des hôpitaux...

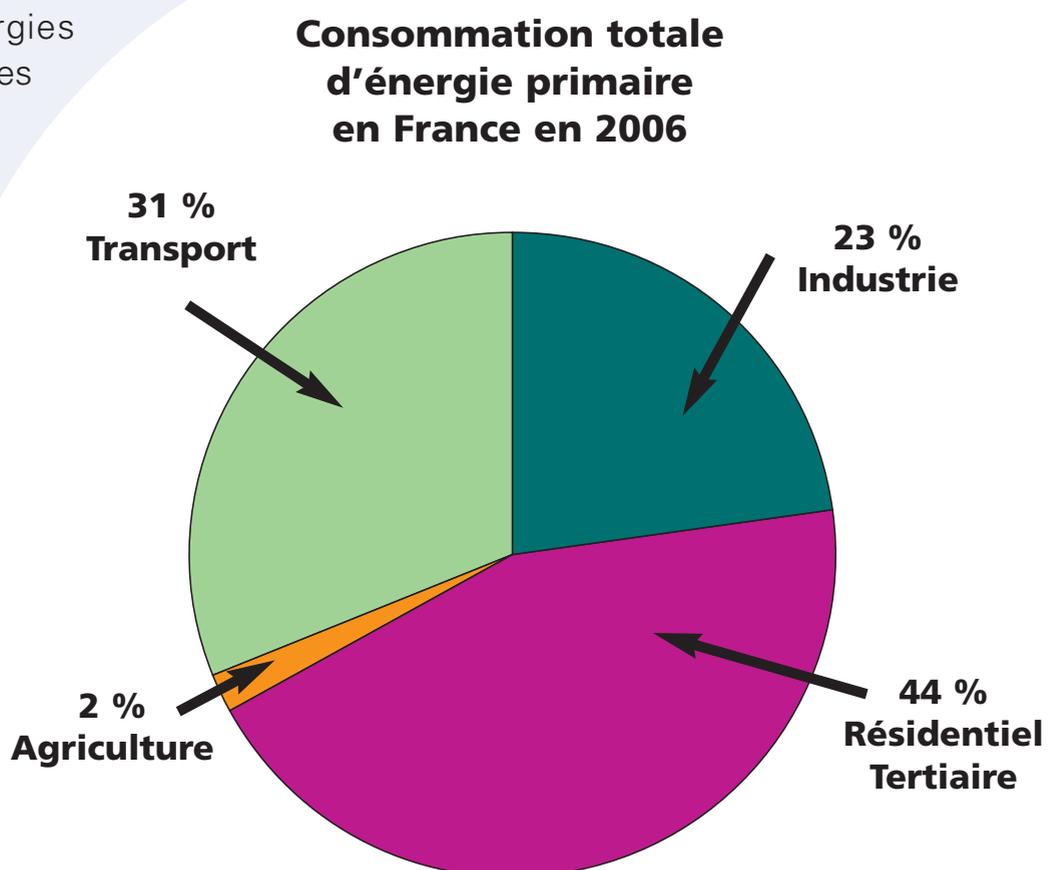
Pourquoi parle-t-on aujourd'hui de la nécessité de maîtriser l'augmentation de la consommation d'énergie (et donc d'électricité) ?

- parce que certaines ressources s'épuisent (les énergies fossiles),
- parce que les besoins de demain sont immenses et qu'il faudra partager les ressources de façon plus équitable,
- parce que l'environnement souffre de cette consommation très importante : gaz à effet de serre, déchets nucléaires.

La maîtrise de la consommation d'énergie concerne plusieurs secteurs :

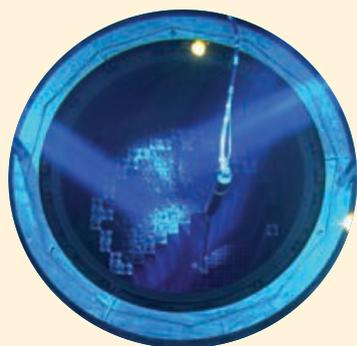
- **Les transports** : les véhicules que nous utilisons aujourd'hui sont plus économes qu'autrefois, et des progrès peuvent encore être faits. Au-delà des aspects techniques (motorisation, profil des voitures...), la réduction de la vitesse, l'utilisation des transports en commun et les déplacements à pied ou à vélo pour les petits trajets contribuent à économiser la ressource pétrole.
- **L'habitat** : l'isolation des habitations existantes peut être améliorée, et certaines constructions nouvelles tiennent compte dès la conception des exigences de la maîtrise de la demande d'énergie (MDE), en veillant à l'ensoleillement, en utilisant les énergies renouvelables (production d'eau chaude solaire, pompes à chaleur...).
- **L'industrie** : on peut dans l'industrie, améliorer encore l'efficacité énergétique, c'est-à-dire mettre en place des techniques qui permettent de produire autant en consommant moins d'énergie.

Le Conseil européen de mars 2007 s'est fixé comme objectif de **réduire de 20% la consommation d'énergie d'ici 2020**. L'atteinte de cet objectif passe par la responsabilisation de chacun.



Source : Observatoire de l'énergie.

Adresses et bibliographie



**Le site Internet d'EDF : <http://enseignants.edf.com>
et pour les jeunes <http://jeunes.edf.com>**

Livres :

- « L'électricité, une énergie à maîtriser » - collection « Petits débrouillards »
- « L'électricité, questions-réponses » - Alain Gréée
- « L'avenir de la terre raconté aux enfants » - Le monde raconté aux enfants - la Martinière Jeunesse
- « L'énergie, tout comprendre d'un seul coup d'œil » Les docs des incollables - Playbac
- « Lumière, son et électricité » - Bibliothèque des sciences - USBORNE
- « Energie, force et mouvement » - Bibliothèque des sciences - USBORNE
- « Le laboratoire de l'énergie » - Livre Atelier - Hatier
- « L'atome, questions-réponses » - Alain Gréée
- « Le nucléaire, questions-réponses » - Alain Gréée

Les sites qui se visitent :

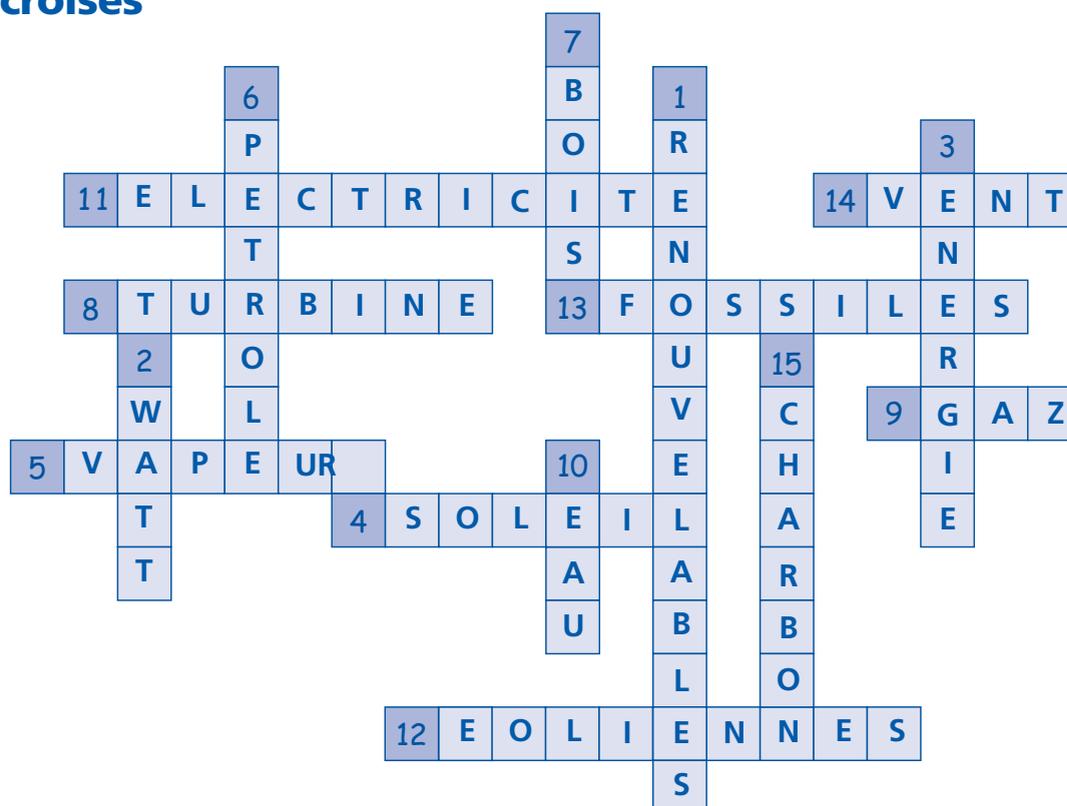
- Alsace - Le Musée Electropolis - L'aventure de l'électricité - 68200 Mulhouse - Tél : 03 89 32 48 50
- Alsace - La Maison des Energies - Route du Rhin - 68740 Fessenheim - Tél : 03 89 83 51 23
- Bretagne - Usine marémotrice de la Rance - Estuaire de la Rance - 35780 La Richardais
- Centre - Le Musée de l'Atome de Chinon - 37120 Avoine - Tél. : 02 47 98 77 77
- Ile de France - Le CNAM (maquette nucléaire interactive) - 292 rue Saint-Martin - 75003 Paris
- Ile de France - La Cité des Sciences : l'espace Energie - 75019 Paris
- Ile de France - Le Palais de la Découverte - 75008 Paris
- Languedoc Roussillon - Le Visiatome (CEA) de Marcoule - 30207 Bagnols sur Cèze
- Limousin - Le site de Bort-les-Orgues - 19110 Bort-les-Orgues
- Midi-Pyrénées - Espace Bazacle - 11 quai Saint-Pierre - 31000 Toulouse - Tél : 05 62 30 16 00
- Rhône-Alpes - Le Musée Hydrelec - 38114 Vaujany - Tél : 04 76 80 78 00



Les CIP (les Centres d'Information du Public des sites de production d'EDF)

Se renseigner auprès de l'installation hydraulique, nucléaire ou thermique à flamme pour connaître les conditions de visites.

Corrigé des mots croisés



1. Histoire de l'énergie

Extrait de "La guerre du feu", un roman de J.H. Rosny Aîné

« Les Oulhamr fuyaient dans la nuit épouvantable. Fous de souffrance et de fatigue, tout leur semblait vain devant la calamité suprême : le Feu était mort. Ils l'élevaient dans trois cages depuis l'origine de la horde ; quatre femmes et deux guerriers le nourrissaient jour et nuit.

... A l'abri de la pluie, des tempêtes, de l'inondation, il avait franchi les fleuves et les marécages, sans cesser de bleuir au matin et de s'ensanglanter le soir. Sa face puissante éloignait le Lion Noir et le Lion Jaune, l'Ours des Cavernes et l'Ours Gris, le Mammouth, le Tigre et le Léopard.... Il tirait des viandes une odeur savoureuse, durcissait la pointe des épieux, faisait éclater la pierre dure... Il rassurait la horde dans les forêts tremblantes, sur la savane interminable, au fond des cavernes...

Il était mort ! L'ennemi avait détruit deux cages ; dans la troisième, pendant la fuite, on l'avait vu défaillir, pâlir et décroître... Il s'était évanoui...

... Malgré sa force, Faouhm désespéra... leva les bras vers le soleil avec un long hurlement. Que feront les Oulhamr sans le Feu ? cria-t-il. »

Réponds aux questions suivantes :

Qui était élevé dans trois cages ?

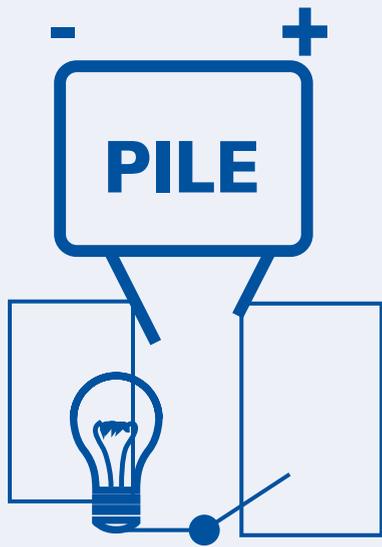
A quoi servait le feu chez les Oulhamr ?

De qui parle l'auteur lorsqu'il dit « Il était mort » ? S'agit-il d'une personne ?

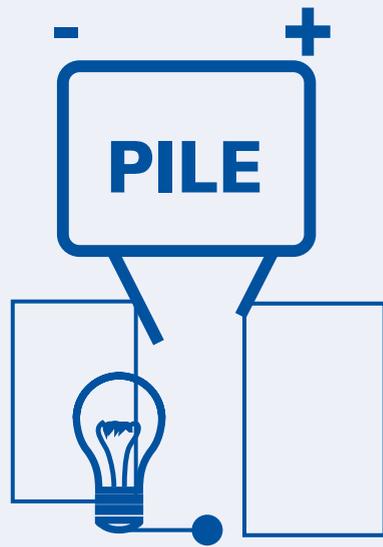
Pourquoi les hommes de cette horde semblent-ils si désespérés ?

2. Les circuits

1. Dessine par des flèches le sens de circulation du courant, et colorie l'ampoule en jaune si elle peut s'allumer.

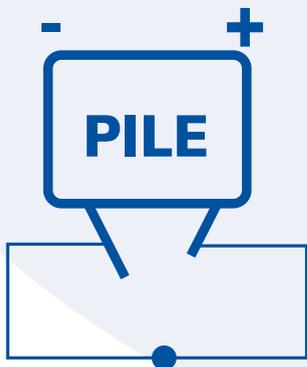


Circuit



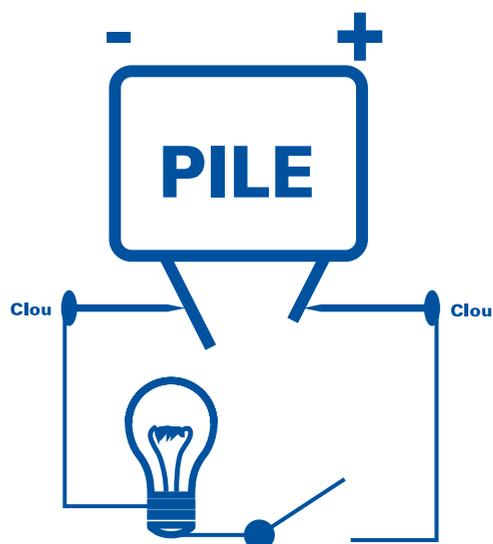
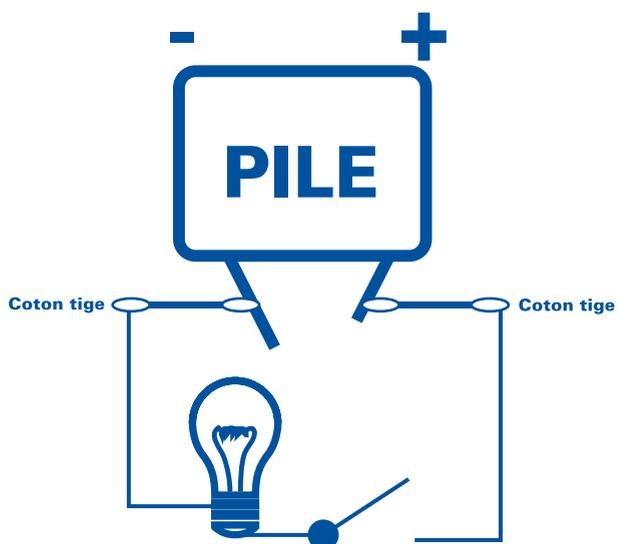
Circuit

2. Complète la légende par « ouvert » ou « fermé »



3. Quel élément manque à ce circuit pour qu'il puisse fonctionner ?

4. Tu sais que certains matériaux sont conducteurs, d'autres non. Regarde bien les deux schémas. Si le circuit peut fonctionner, colorie l'ampoule en jaune. Explique pourquoi ?



3. Energie et production d'électricité

1. Classe chacune des sources d'énergie suivantes dans la colonne correspondante du tableau (A ou B) : *charbon - eau - pétrole - vent - bois - gaz - soleil - uranium*

Energie renouvelable		Energie fossile non renouvelable	
C	A	D	B

2. Dans la colonne C ou D, dessine pour chacune des énergies les usages correspondants, en reproduisant les pictogrammes ci-dessous.

Attention ! Une source d'énergie peut correspondre à plusieurs usages.

production d'électricité



production de chaleur



alimente des moyens de transport

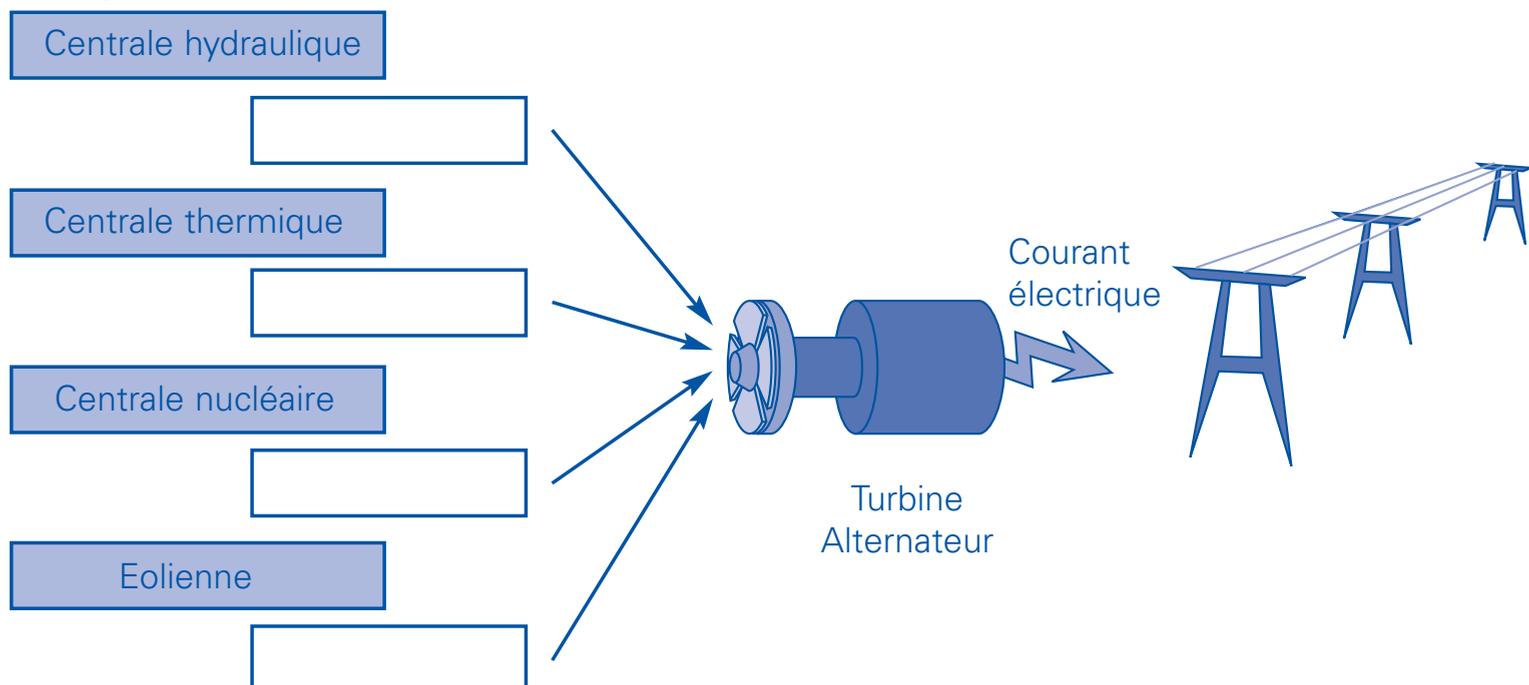


Quelle est, dans ton tableau, l'énergie qui sert le plus ?

Sais-tu quelle est l'énergie la plus utilisée dans le monde ?

Est-elle renouvelable ?

3. Pour produire de l'électricité, il faut faire tourner une turbine reliée à un alternateur. Complète le schéma ci-dessous en écrivant dans l'étiquette de droite ce qui fait tourner la turbine :



4. Etude du **Poster**

• • • • • • • • • •

Sur le poster, quelles sont les utilisations de l'électricité que tu vois ?

Il y a peut-être d'autres utilisations que tu ne vois pas mais que tu peux deviner ? Dans quels bâtiments ?

Qui sont les utilisateurs de l'électricité ?

Sur cette image, quels moyens sont utilisés pour produire l'électricité ?

Combien de centrales électriques vois-tu ? Nomme-les :

Quelles sont les centrales qui peuvent produire de l'électricité en continu, c'est-à-dire toute la journée, toute l'année ?

Quelles sont les centrales qui ont besoin de conditions particulières pour fonctionner ? Pourquoi ?

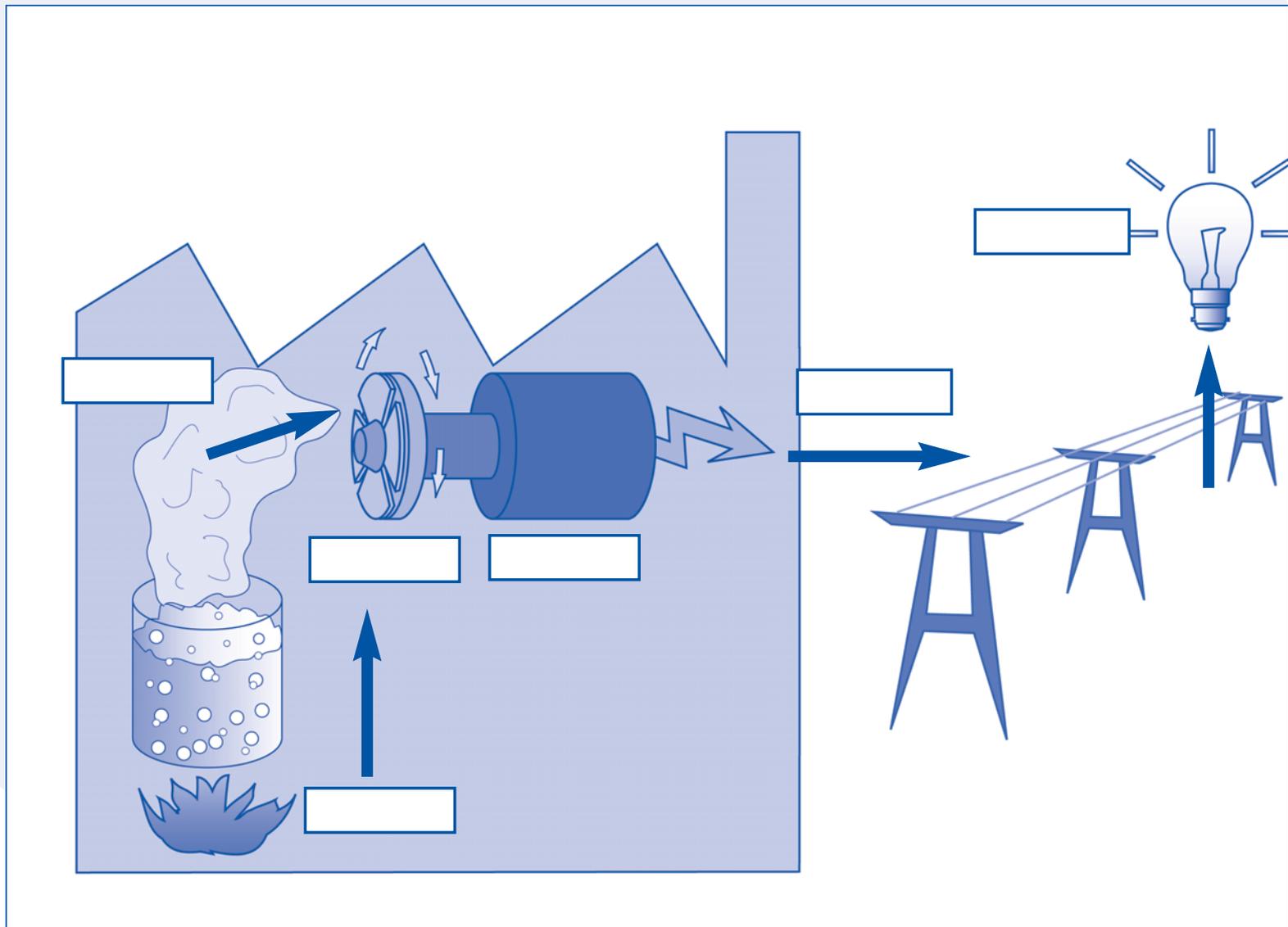
Sur le poster, quelles sont les centrales qui utilisent des énergies renouvelables ?

Comment l'électricité produite arrive-t-elle vers les maisons, les usines et les bureaux ?

5. La production d'électricité dans une centrale thermique à flamme

1. Schéma de principe avec légende à compléter

chaleur - vapeur - lumière - alternateur - courant électrique - turbine



2. Texte à trous :

brûler - vapeur - chaudière - alternateur - lignes - électricité - eau - turbine

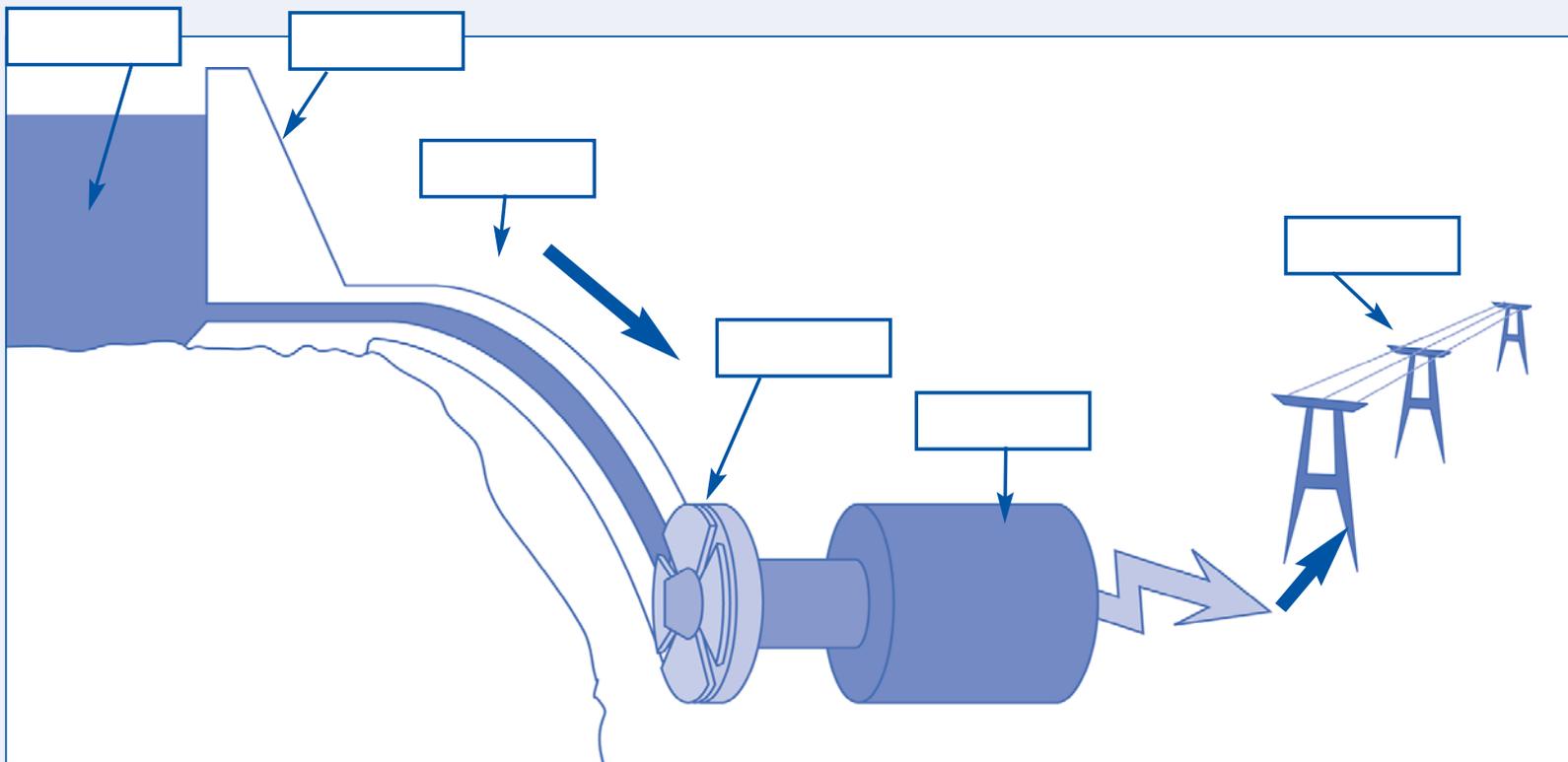
Pour produire de l'électricité dans une centrale thermique à flamme, on fait _____ un combustible, charbon ou pétrole, dans une sorte de grosse _____. La chaleur dégagée permet de chauffer de l'____, qui se transforme en _____. Celle-ci est envoyée sur la _____, couplée à un _____, qui produit l'_____.

A la sortie de la centrale, l'électricité est envoyée sur le réseau de transport, c'est-à-dire des _____ à haute tension.

6. La production d'électricité d'origine hydraulique

1. Schéma à légender avec les mots suivants :

pylône - barrage - turbine - conduite forcée - alternateur - lac de retenue



2. Pour chacune des affirmations suivantes, coche la case « Vrai » ou « Faux »

- C'est la fonte des neiges qui permet de remplir les lacs de barrages en montagne. Vrai Faux
- En France il existe des barrages sur tous les fleuves. Vrai Faux
- L'énergie hydraulique est une énergie renouvelable. Vrai Faux
- Les barrages de haute chute produisent de l'électricité en continu toute l'année. Vrai Faux
- Les barrages au fil de l'eau produisent de l'électricité en continu toute l'année. Vrai Faux
- Il faut qu'il pleuve tous les jours pour que le barrage puisse fonctionner. Vrai Faux

3. Que signifie le panneau ci-contre ?

ATTENTION DANGER
IL EST DANGEREUX
 de s'aventurer dans le lit de ce cours d'eau ou sur les îles ou bancs de gravier l'eau pouvant monter brusquement et à tout moment par suite du fonctionnement des centrales hydroélectriques et des barrages.



7. Les autres énergies renouvelables

Tu as compris que **certaines énergies sont épuisables** : ce sont celles qu'on extrait du sous-sol, le charbon, le pétrole ou le gaz naturel. Elles ne se renouvellent pas, on les appelle les énergies _____ . **D'autres sont renouvelables**. Mais ces énergies renouvelables ne sont pas disponibles partout, ni tout le temps.

1. Ecris en face de chaque pictogramme si cette énergie est disponible dans tous les pays, tous les jours, et 24 heures sur 24. Explique pourquoi.



Energie éolienne

Partout Oui Non
24h/24 Oui Non
Pourquoi ?



Energie géothermique

Partout Oui Non
24h/24 Oui Non
Pourquoi ?



Energie solaire

Partout Oui Non
24h/24 Oui Non
Pourquoi ?



Biomasse

Partout Oui Non
24h/24 Oui Non
Pourquoi ?

2. Le soleil peut être utilisé pour produire de l'électricité grâce à des panneaux photovoltaïques, qu'on appelle aussi des panneaux solaires. Mais on peut aussi utiliser sa chaleur pour chauffer de l'eau.

Expérience : Remplis d'eau deux petites bouteilles de plastique. Enveloppe l'une d'un sac poubelle noir, l'autre d'un sac transparent et place les au soleil. Mesure à l'aide d'un thermomètre la température de l'eau dans chacune des bouteilles au bout de 10 minutes, puis après 15 minutes supplémentaires.

Que remarques-tu ?

Comment peux-tu expliquer cela ?

A quoi peut servir dans la vie quotidienne le phénomène que tu as observé ?

3. L'énergie du vent

Sais-tu pourquoi les grands moulins qui utilisent la force du vent pour produire de l'électricité s'appellent des éoliennes ?

Peut-on utiliser la force du vent pour un autre usage que la production d'électricité ? Explique ta réponse :

Oui Non

8. La Sécurité

1. Pour chacune des affirmations suivantes, coche la case « Vrai » ou « Faux »

- Je ne dois pas toucher un appareil électrique avec les mains ou les pieds mouillés. Vrai Faux
- Je peux laisser le mixer branché pour le laver. Vrai Faux
- Il faut couper le courant au disjoncteur en cas d'inondation. Vrai Faux
- L'usage des rallonges et des prises multiples est sans danger. Vrai Faux
- Je dois prévenir mes parents si je ressens des picotements en touchant un appareil électrique. Vrai Faux
- Les animaux domestiques peuvent endommager les fils électriques. Vrai Faux
- On peut utiliser n'importe quel appareil électrique dans la salle de bains. Vrai Faux
- Je dois faire attention à ne jamais toucher d'ampoule halogène ou une plaque de cuisinière encore chaude. Vrai Faux
- Je dois empêcher les jeunes enfants d'introduire des objets dans les prises électriques. Vrai Faux
- Je peux escalader les poteaux électriques, c'est très rigolo ! Vrai Faux
- En cas d'orage, il ne faut jamais s'abriter sous un arbre car il attire la foudre. Vrai Faux

2. Réponds aux questions suivantes :

Pourquoi dit-on que l'eau et l'électricité ne sont pas amies ?

Pourquoi est-ce dangereux de jouer avec un cerf-volant près d'une ligne électrique ?

9. L'électricité dans la maison

1. Classe dans chacune des 4 catégories les différents appareils électriques de la maison. Ecris leur nom dans le tableau.

Attention, certains appareils entrent dans plusieurs catégories !

Lumière	Chaleur
Moteur	Audio-visuel et communication

2. En dehors de la maison, quelles sont les autres utilisations de l'électricité ?

3. Complète le texte ci-dessous avec les mots manquants :

électricité - éteindre - cafetière - moteur - chauffer - radio - chauffe - lampe

Tous les matins, avant de partir à l'école, je prends mon petit-déjeuner. J'ouvre le réfrigérateur qui a besoin d'_____ pour faire tourner son _____, et aussi pour éclairer sa _____.

Je fais _____ mon lait et lave ensuite mon bol avec de l'eau bien chaude, produite par un _____ - eau.

Avant de partir, je pense à _____ la lumière dans la cuisine, ainsi que la _____ car je l'écoute souvent le matin.

Il arrive que Papa ait oublié d'éteindre la _____ !

10. Les unités de **mesure**

1. Tu as fait une enquête à la maison, et tu as vu que tous les appareils n'avaient pas la même puissance. Relie par des flèches les appareils et les puissances qui te semblent correspondre.

11 W

75 W

100 W

150 W

1 000 W

2 500 W

200 W

Le lave-linge

Une ampoule basse consommation

Le réfrigérateur

Une ampoule "classique"

Un lampadaire halogène

La télévision

L'aspirateur

2. Pour chacune des affirmations suivantes, coche la case « Vrai » ou « Faux »

- C'est le physicien Italien Volta qui a donné son nom à l'unité de mesure le Volt. Vrai Faux
- En France, les installations électriques de nos habitations fonctionnent en 230 volts. Vrai Faux
- L'électricité est transportée en 230 volts. Vrai Faux
- Une ampoule de 100 W éclaire mieux qu'une ampoule de 40 W. Vrai Faux
- On ne connaît pas la puissance d'un appareil lorsqu'on l'achète. Vrai Faux

11. Calculs de **Consommation**

Pour connaître la consommation d'électricité d'un appareil électrique, il faut connaître sa puissance (en watts), et le nombre d'heures d'utilisation.

PUISSANCE	X	DUREE D'UTILISATION	=	CONSOMMATION
W	X	h	=	Wh

1. Calcule la consommation de la télévision (115 W) quand tu la regardes 1 heure :

2. Pendant que tu la regardes, il y a deux lampes allumées dans le salon, une lampe basse tension de 11 W et un lampadaire halogène de 200 W.

Calcule la consommation pendant une heure :

3. Pendant une journée chez toi,

• La cuisinière (2 500 W) a fonctionné 1 heure **1 heure x 2 500 W =** _____

• La télévision (100 W) a été allumée 3 heures _____

• Le lave-linge (2 500 W) a tourné 1 heure _____

• La chaîne Hi-Fi (100 W) a fonctionné 2 heures _____

• Le lampadaire (200 W) est resté allumé 4 heures _____

Calcule la consommation totale en Wh _____

Tu sais que 1 000 Wh = 1 kWh

Convertis la consommation de la journée en kWh _____

En un mois (30 jours), combien ta famille aura-t-elle consommé d'électricité ? _____

A ton avis, toutes les familles consomment-elles autant d'électricité ? _____

4. Pour chacune des affirmations suivantes, coche la case « Vrai » ou « Faux »

- Une famille nombreuse consomme plus d'électricité qu'une personne seule. Vrai Faux
- Une famille consomme plus d'électricité en 2005 qu'en 1960. Vrai Faux
- La consommation d'électricité est la même toute l'année. Vrai Faux
- Il y a dans certains pays des familles qui ne consomment pas du tout d'électricité. Vrai Faux
- On consomme plus d'électricité entre 7h et 9h le matin qu'entre 9h et 11h. Vrai Faux
- Si tu penses à éteindre les lampes quand tu quittes une pièce, la consommation d'électricité diminue. Vrai Faux

12. Comment **réduire** sa consommation ?

Beaucoup de petits gestes de la vie quotidienne permettent de réduire nos consommations, et donc de réduire les sources de pollution.

Le développement durable, c'est cela, c'est veiller à ne consommer que ce dont nous avons besoin, sans gaspiller, pour laisser à nos descendants une planète propre, une planète vivable.

Illustre par un symbole vert (un arbre ou une fleur) les « bons comportements », ceux qui permettent de consommer malin et citoyen, et colorie en noir les autres :

Je laisse la télévision en veille : ça ne consomme pas d'électricité.

Je ferme les volets le soir pour garder la chaleur dans la maison.

Avant de partir à l'école, je vérifie si toutes les lumières sont éteintes.

Je prends tous les jours un bain : ça ne consomme pas plus d'eau qu'une douche.

On peut consommer moins d'essence si on ne roule pas trop vite et si on évite d'accélérer trop fort.

On limite les rejets de gaz polluants si on se déplace à pied ou à vélo pour les petits trajets.

Quand j'ai un peu froid, je reste en tee-shirt, mais j'augmente le thermostat du chauffage.

A la maison, on fait une lessive tous les jours, même s'il n'y a pas beaucoup de linge.

Je laisse couler le robinet d'eau pendant que je me brosse les dents.

J'attire l'attention de mes parents sur la consommation d'un appareil avant l'achat.

Et toi, que proposes-tu comme action citoyenne pour la classe et à la maison ?

14. L'évolution des objets techniques

1. Identifie dans le texte ci-dessous les objets techniques, en les soulignant. Remplace les par des objets d'aujourd'hui répondant aux mêmes fonctions d'usage. Quelles solutions techniques ont permis de faire évoluer ces objets ? Ecris ensuite les consignes pour réaliser la même recette avec les moyens d'aujourd'hui.

Extrait du livre de recettes de ma grand-mère : le hachis Parmentier

Ingrédients :

Viande de veau et de boeuf - Oignons, persil - Pommes de terre - Lait - Sel, poivre

Garnir la cuisinière à l'avance avec du charbon de façon à obtenir des braises pour faire rissoler les oignons.

Sur la planche, hacher au hachoir ou au couteau les oignons et les faire revenir à la poêle. Pendant qu'ils fondent doucement, hacher finement les morceaux de viande, ajouter du persil et réserver au frais à la cave le temps de préparer les pommes de terre.

Rajouter du bois ou du charbon pour obtenir un feu vif et faire cuire les pommes de terre à l'eau bouillante salée, les égoutter.

Les écraser avec le presse-purée, ajouter le lait (que vous aurez remonté de la cave pour le faire tiédir sur le coin du fourneau), bien remuer au fouet.

Dans un plat à gratin, répartissez les deux préparations en alternant une couche de viande + oignons, une couche de purée, et mettez au four.

Vous pourrez utiliser le reste le lendemain en le réchauffant doucement sur le coin du fourneau.

2. Rédige à ton tour un texte racontant ce que tu fais le matin avant de partir au collège : tu te réveilles, tu te laves, tu prépares ton petit déjeuner, tu pars au collège... Décris ces situations avec les objets techniques dont tu disposes, et imagine-les autrefois avec d'autres moyens.

3. Pour ce qui concerne le chauffage des habitations, les moyens techniques ont aussi évolué. Relie par une flèche le moyen de chauffage et l'époque correspondante.

Préhistoire •

Moyen-Age •

XIX^{ème} siècle •

Epoque moderne •

• Radiateur

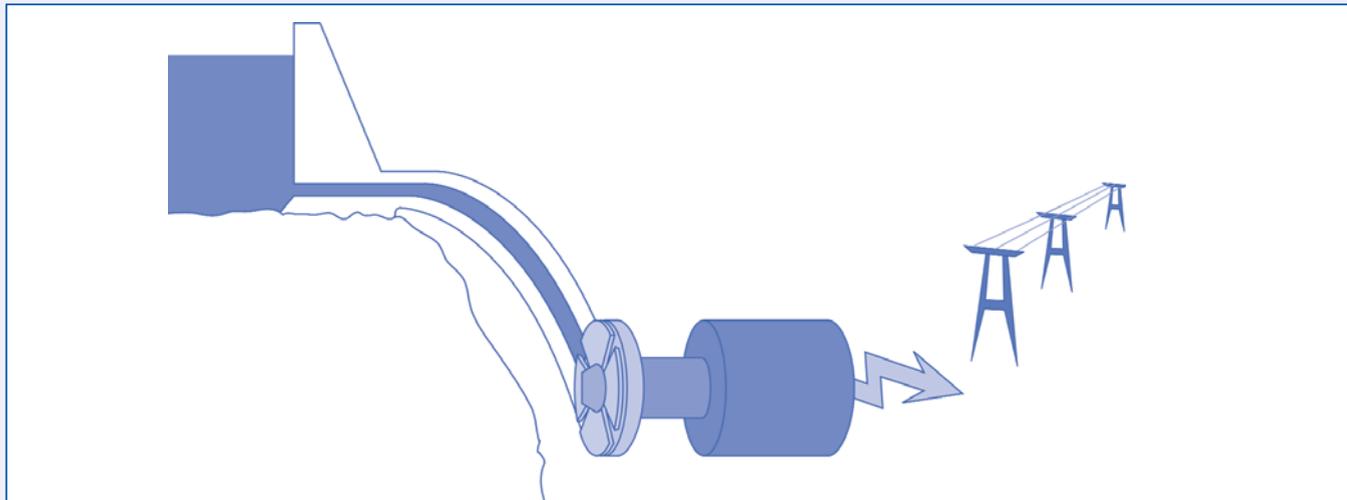
• Feu

• Cheminée

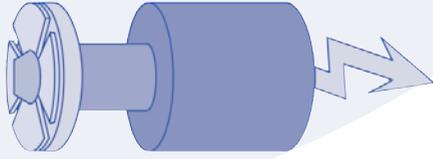
• Poêle à charbon

15. Transformation de l'énergie

Pour produire de l'électricité, on utilise souvent une force, l'énergie mécanique, qui entraîne une turbine couplée à un alternateur, lequel produit de l'énergie électrique.



1. Quelle énergie entraîne la turbine ? _____
2. En est-il de même pour les éoliennes ? Et pour les centrales thermiques ? Indique dans le tableau ci-dessous comment se transforme l'énergie.

Energie de départ			Energie d'arrivée	
	_____		_____	
	_____ puis _____		_____	

3. Quand on utilise des appareils électriques, on transforme de l'énergie. Pour chacun des cas ci-dessous, complète en indiquant l'énergie de départ et l'énergie d'arrivée. Attention, il peut y avoir plusieurs réponses.

Tu branches la bouilloire électrique pour faire chauffer de l'eau :

Energie de départ : _____ Energie d'arrivée : _____

Tu utilises le mixer pour faire de la pâte à crêpes :

Energie de départ : _____ Energie d'arrivée : _____

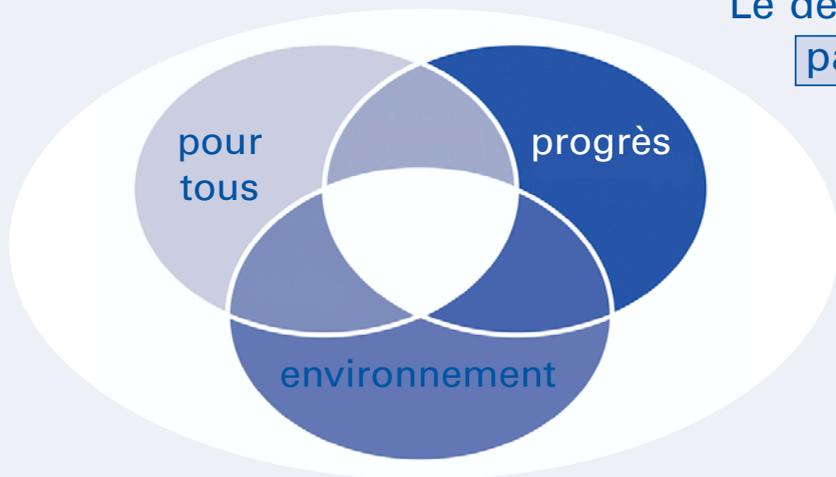
Tu programmes la machine à laver le linge avec un programme à 40°C :

Energie de départ : _____ Energie d'arrivée : _____

Tu éclaires la lampe de ton bureau pour faire tes devoirs :

Energie de départ : _____ Energie d'arrivée : _____

16. Qu'est-ce que le **développement durable**



Le développement durable, c'est permettre à tous les pays de se développer, sans nuire à l'environnement, et sans oublier que les générations futures auront aussi besoin des ressources de la planète.

Pour accéder au développement, l'énergie et l'électricité sont indispensables.

1. Souligne les phrases de la liste ci-dessous, pour indiquer si elles répondent ou non aux exigences du développement durable (progrès, pour tous, environnement). Barre celles qui ne vont pas dans ce sens.

- Aujourd'hui dans le monde, 1 habitant sur 3 n'a pas accès à l'électricité.
- 1 Africain consomme chaque année 13 fois moins d'électricité qu'un Européen.
- Amener l'électricité dans un village en Amérique du Sud, c'est permettre de faire fonctionner l'hôpital, et de nouvelles machines pour les artisans.
- En France, on a de l'électricité tant qu'on en veut, on peut laisser les lampes de la classe allumées le soir quand on part.
- Dans son village du Mali, Yasmina ne va plus au puits chercher de l'eau depuis qu'une pompe solaire a été installée pour amener l'eau.
- Des panneaux photovoltaïques ont été installés dans ce village du Vietnam, chaque maison est équipée d'une ampoule basse consommation.
- L'utilisation des énergies renouvelables ne rejette pas de gaz à effet de serre.
- En Chine, on construit actuellement de très nombreuses centrales électriques.

2. Pour certains usages, on peut se passer d'électricité. On peut cuisiner au gaz, on peut se chauffer au bois, au charbon ou au fuel.

Imagine que tu rentres à la maison après l'école, et que l'électricité soit coupée.

Quelles activités peux-tu faire ?

Quelles sont celles que tu ne peux pas faire ?

3. Dans les pays en développement, l'électricité n'est pas disponible partout : les villes sont alimentées mais les villages isolés ne le sont pas tous. Pour quels usages le manque d'électricité est-il très gênant ? Ces pays peuvent-ils se développer ?

De l'énergie à l'électricité



De l'énergie à l'électricité



Ce kit est un support pédagogique réservé au monde de l'éducation



EDF - DAP
22-30, avenue de Wagram
75008 Paris
www.edf.com
EDF SA au capital de 911 085 545 euros - 552 081 317 R.C.S. Paris

<http://enseignants.edf.com>