

Thème 2 - Le futur des énergies	Chapitre 2 - Les atouts de l'électricité	Term Enseignement scientifique
<u>Ce qu'il faut retenir ou savoir faire</u>		

Dans ce chapitre

L'énergie électrique présente de nombreux avantages : une distribution aisée, sûre et à faible impact écologique; l'existence de réseaux de distribution très étendus; la disponibilité de convertisseurs de bon rendement permettant de transformer l'énergie électrique en d'autres formes d'énergie ou, symétriquement, d'obtenir de l'énergie électrique. L'existence de procédés d'obtention d'énergie électrique sans combustion justifie le rôle central que cette forme d'énergie est amenée à jouer à l'avenir.

Vous trouverez dans ce polycopié :

- Le cours
- Fiche - Impacts environnements de la production électriques
- Feuilles d'exercices du chapitre

Ce qu'il faut savoir faire (partie physique chimie) :

Savoir-faire	Fiche	Exercice(s)
Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie.		1, 2 et 3
Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie.		1 et 2
Analyser des documents présentant les conséquences de l'utilisation de ressources géologiques (métaux rares, etc.).	1	4 et 5
Comparer différents dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères (masses mises en jeu, capacité et durée de stockage, impact écologique).		1 et 3

Chapitre 2 - Les atouts de l'électricité

À la lumière du rôle joué par les combustibles fossiles dans le réchauffement climatique 1 et la demande croissante d'énergie, la production d'électricité doit se faire de manière durable en utilisant des énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, hydraulique, la géothermie et le solaire photovoltaïque (PV) ou électrochimique.

I Conversion d'énergie sans combustion : trois méthodes

En excluant la combustion, il est possible d'obtenir de l'énergie électrique à la partir de la conversion d'énergie mécanique, radiative ou électrochimique

I.1 Conversion d'énergie mécanique

La conversion d'énergie mécanique peut être <u>directe</u> :	<ul style="list-style-type: none"> • dynamos • éoliennes, • hydrolennes, • barrages hydroélectrique.
ou <u>indirecte</u> :	<ul style="list-style-type: none"> • centrales nucléaires, • centrales solaires thermique, • géothermie.

I.2 Conversion d'énergie radiative

La conversion d'énergie solaire, en particulier d'énergie solaire photovoltaïque représente une des voies les plus intéressantes et pour laquelle, le développement industriel est le plus important actuellement. Bien qu'aujourd'hui le coût du photovoltaïque soit encore important, il a connu une nette diminution au cours de ces dernières années et doit encore continuer en vue de devenir économiquement viable, par rapport aux énergies fossiles. Pour convertir de l'énergie radiative, on utilise des panneaux solaires.

I.3 Conversion d'énergie électrochimique

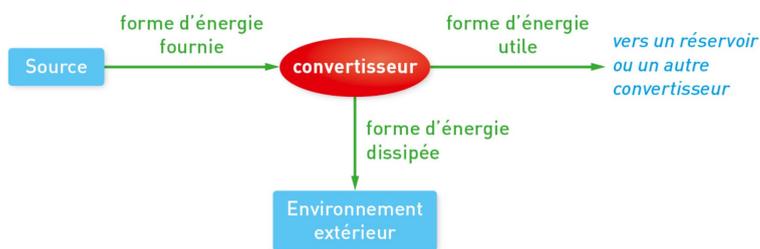
Dans des piles ou accumulateurs (batteries), on utilise des réactions électrochimiques (on parle aussi de réactions d'oxydoréduction) se produisant par échange d'électron(s). Ces dernières sont utilisées pour générer un courant électrique.



II Représentation de la conversion d'énergie et rendement

II.1 Chaîne de conversion d'énergie

Pour modéliser les conversions d'énergie qui ont lieu, on peut utiliser une **chaîne de conversion d'énergie** :



On y trouve :

- les formes d'énergies
- le réservoir d'énergie (dynamos, éoliennes, etc...)
- le convertisseur d'énergie

II.2 Rendement global d'un système de conversion d'énergie

Le rendement η (se prononce « eta ») d'un dispositif de conversion d'énergie indique l'efficacité de la conversion. On le définit par le rapport :

$$\eta = \frac{\text{Énergie utile}}{\text{Énergie reçue}}$$

où l'énergie utile est l'énergie utile et reçues sont respectivement les énergies à la sortie ou l'entrée du dispositif de conversion. Toutes les deux s'expriment le plus souvent en Joule (J). On peut également l'exprimer en Wh ou kWh.

Ordre de grandeur : Les batteries de téléphones portables (accumulateurs Li-ion) ont un rendement proche de 90 %.

III Stockage de l'énergie

La nécessité du stockage vient du fait que la conversion en électricité n'est pas possible à tout instant (panneaux solaires inefficaces la nuit, vent pas toujours assez important, etc...). Il est nécessaire de convertir l'énergie électrique et la stocker sous une autre forme d'énergie.

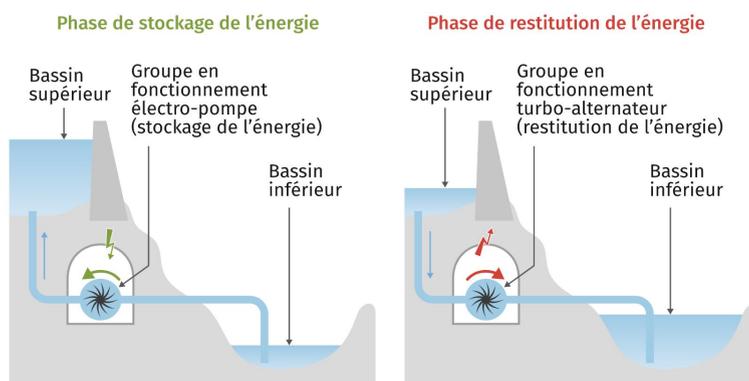
III.1 Énergie chimique

Pour stocker de l'énergie sous forme chimique, on utilise des batteries constituées de plusieurs accumulateurs électrochimiques. Sous l'action d'un courant, les réactions électrochimiques ont lieu dans le sens inverse, ainsi on reforme les **réactifs** de départ. Avec une batterie lithium-ion on peut stocker environ 150 Wh.kg^{-1} .

Inconvénients : le vieillissement, les matériaux rares et les conséquences écologiques de leur extraction, le recyclage. Le nombre de cycles de charge/décharge est d'environ 4000.

III.2 Énergie potentielle

Lors d'un surplus de production d'électricité, on cherche à stocker l'énergie, pour cela on pompe l'eau située dans le bassin inférieur jusqu'au bassin supérieur. C'est le type stockage sous forme d'énergie **potentielle** le plus utilisé au monde.

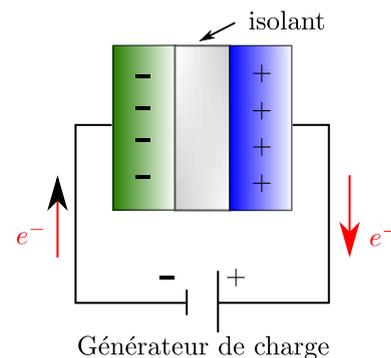


Le dispositif est une « Station de Transfert d'Énergie par Pompage » (**STEP**). Les STEP peuvent stocker de 1 à 100 GWh.

Ordre de grandeur : Le rendement de restitution varie entre 65 et 80 %.

III.3 Énergie électromagnétique

Il est possible de stocker de l'énergie sous forme électromagnétique dans des **super-capacités** également connues sous le nom de **super-condensateurs**. Le principe de fonctionnement ressemble à celui d'une batterie, sauf qu'ici, lors de la charge, on stocke de l'électricité sous forme de charges électriques statiques positives ou négatives, situées dans deux compartiments cylindriques constituant des « électrodes » séparés par un isolant.



Lors de la décharge, les électrodes redeviennent neutres suite à la circulation des électrons (courant électrique) dans un circuit extérieur (relié aux électrodes).

Avantage : Charge et décharge plus rapides que pour une batterie. Stockage d'environ 6 kWh pour un super-condensateur d'un kilogramme.

Inconvénient : ils ne peuvent stocker qu'une plus faible quantité d'énergie de que les batteries.

A voir

- Éoliennes : <https://www.youtube.com/watch?v=zqc1GfOn1a8>,
- Hydroliennes : <http://webtv.edf.com/player-preview-df13d75968788186009043f3b1ff0802.html>
- Centrale hydraulique : <https://www.youtube.com/watch?v=vqdbbigU900>
- Centrale géothermique : <https://www.youtube.com/watch?v=ABp9A-ozlV4>
- Centrale solaire thermique <https://www.youtube.com/watch?v=7lqUxIHT8hU>
- Centrale solaire photovoltaïque https://www.youtube.com/watch?v=k_ut9pb3kjU
- Centrale nucléaire <https://www.youtube.com/watch?v=I09DhTubNqE>
- Principe d'une STEP <https://theconversation.com/stocker-de-lelectricite-comment-ca-marche-78805>

Thème 2 - Le futur des énergies	Chapitre 2 - Les atouts de l'électricité	Term Enseignement scientifique
<u>Impacts environnements de la production électrique</u>		

La production d'énergie électrique a des conséquences variées sur l'environnement qui sont très différentes selon le mode de production considéré.

Quelles sont les conséquences sur l'environnement de la production d'énergie électrique?

Document 1 - Impacts environnementaux de la production électrique

Les énergies renouvelables participeront à 40 % de la production d'électricité en France d'ici 2030... De belles perspectives pour baisser nos émissions de carbone, principales responsables du réchauffement climatique. Mais est-ce vraiment la solution miracle ? Ces énergies renouvelables sont-elles aussi propres qu'on le pense ? En effet, « *Toute activité est polluante, rien n'est vert* », explique même Bernard Multon, enseignant-chercheur à l'École normale supérieure de Rennes [...].

Parce que, indirectement, elles émettent du CO₂. En état de marche, une éolienne ou un panneau photovoltaïque n'émettent pas de carbone, c'est certain. Ces deux solutions sont-elles pour autant « décarbonées » ? Ce n'est pas si simple.

« *La ressource, le soleil et le vent, est renouvelable. Mais maintenant, il faut la transformer, et pour ça, il faut entre autres des métaux... Beaucoup de métaux* », explique Bernard Multon. Un socle d'éolienne en béton, un mât fait de tonnes d'acier, des fils en cuivre, des panneaux solaires fabriqués à partir de silicium... Ces composants, non renouvelables, ont consommé de l'énergie pour être extraits et transformés. [...]



Le tableau périodique des éléments chimiques est présenté. Une légende indique que les métaux rares sont représentés par des cases rouges dans le tableau. Ces métaux rares incluent les lanthanides (de Ce à Lu), les actinides (de Th à Lr), et les terres rares (de Sc à Y).

a Les métaux rares dans le tableau périodique.

Parce qu'elles contiennent des métaux rares C'est la critique la plus fréquente faite aux énergies renouvelables : elles contiennent parfois des terres rares (a). Il s'agit d'un groupe de métaux, présents en petite quantité sur Terre. « *Pour un kilo de fer, vous ne trouverez qu'un gramme de terre rare* », explique Guillaume Pitron, auteur de *La Guerre des métaux rares* (janvier 2018, éditions Les liens qui libèrent). Leur bilan écologique est « déplorable » (b). « *Les terres rares sont si éparpillées que le processus d'extraction est*

très long et complexe. Il faut utiliser beaucoup d'eau, des produits chimiques, casser la roche... Ça pollue les sols », explique-t-il. [...]



b Lieu d'extraction et de traitement des métaux rares en Chine, l'une des régions les plus polluées au monde.

Parce que leurs matériaux ne sont pas assez recyclés Peu de matériaux utilisés pour construire les éoliennes et les panneaux solaires sont aujourd'hui recyclés (c). Le site *Reporterre* cite par exemple le cuivre, une ressource « *abondante* » qui pourrait pourtant « *s'épuiser à moyen terme* » parce qu'elle est « *largement utilisée* » mais pas recyclée. « *L'industriel qui installe l'éolienne a pour obligation – c'est dans la loi – de démonter la structure. Pas de la recycler* », regrette Bernard Multon.

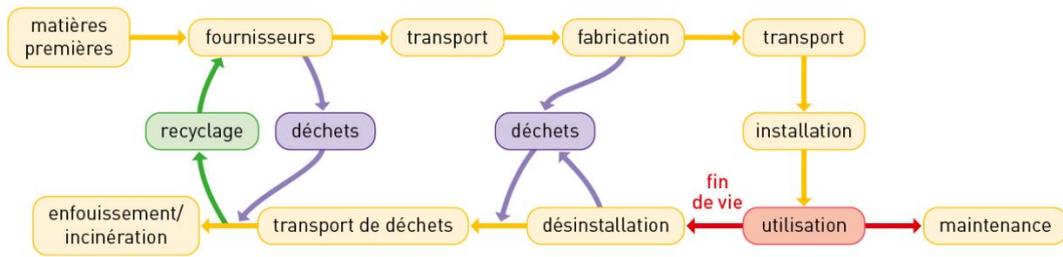
D'après Camille Adaoust, « *Pourquoi les énergies renouvelables sont moins propres que vous ne le pensez (en tout cas pour l'instant)* », 4 décembre 2018, francetvinfo.fr

c La première usine de recyclage de panneaux solaires a ouvert ses portes en 2018 dans les Bouches-du-Rhône.



Document 2 - Cycle de vie complet d'une éolienne

Les différentes étapes du cycle de vie d'une éolienne sont indiquées sur le schéma ci-dessous.



Document 3 - Déchets et production électrique

Visionner la vidéo proposée par l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA) expliquant le traitement des déchets radioactifs en France :



Vidéo :

<https://www.youtube.com/watch?v=ShF2q1L3tko>

Document 4 - Impacts carbone globaux

La production d'électricité est responsable de 42,5 % des émissions de CO₂ qui reste le principal responsable de l'effet de serre.

En plus des quantités de gaz émises lors du fonctionnement des centrales, il est aussi nécessaire

de prendre en compte le cycle de vie complet de différentes installations : fabrication, construction, approvisionnement en carburant, recyclage, etc. Le tableau ci-dessous présente les masses de CO₂ en gramme émises pour un kWh d'énergie électrique produit.

	 éolien	 solaire	 hydraulique	 nucléaire	 charbon	 gaz naturel	 fioul
Émission de CO ₂ pendant la durée de production d'énergie électrique	0	0	0	0	345	272	204
Émission de CO ₂ pendant la durée totale de vie de l'installation	12,5	55	6	6	1 060	730	418

Questions

1. Faire la liste des différents impacts environnementaux que chaque mode de production d'énergie peut présenter.
2. Expliquer pourquoi les études d'impacts doivent prendre en compte la totalité du cycle de vie d'une installation de production électrique.
3. Identifier les deux modes de productions présentant le meilleur bilan carbone ainsi que les difficultés que leur exploitation peut présenter.

Réponses aux questions

Thème 2 - Le futur des énergies	Chapitre 2 - Les atouts de l'électricité	Term Enseignement scientifique
<u>Ce qu'il faut retenir ou savoir faire</u>		

Exercice 1 - Centrale solaire thermique



La première centrale solaire avec stockage d'énergie au monde a été inaugurée en 2019 dans la région Occitanie. Elle est capable de délivrer une puissance électrique de 9 MW, soit la consommation en électricité de plus de 6000 foyers.

Cette centrale utilise 153 000 m² de miroirs qui concentrent le rayonnement solaire sur un tube récepteur fixé au-dessus du sol. A l'intérieur du tube récepteur circule de l'eau qui est ainsi chauffé puis transformée en vapeur.

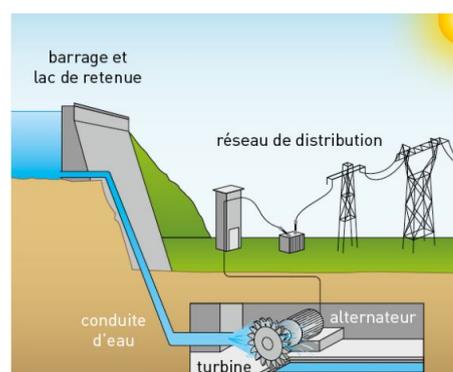
Cette vapeur peut être directement utilisée pour obtenir de l'énergie électrique ou stockée dans des ballons. Ce procédé de stockage permet de poursuivre la production d'électricité pendant plusieurs heures en absence de soleil et même la nuit.

1. Représenter la chaîne de transformation énergétique de cette centrale au niveau des tubes récepteurs.
2. Identifier les avantages et les inconvénients de cette installation par rapport aux centrales à combustion.
3. Quel est l'intérêt de stocker de la vapeur d'eau produite à partir de l'énergie solaire ?
4. On évalue la puissance solaire reçue au niveau du sol à 500 W.m⁻².

Estimer la valeur du rendement de cette installation.

Exercice 2 - Barrage hydroélectrique

Les centrales hydroélectriques exploitent l'énergie mécanique accumulée par un important volume d'eau retenu par un barrage. L'association d'une turbine et d'un alternateur permet de convertir cette énergie en énergie électrique qui sera ensuite dirigée vers le réseau de distribution.



1. (a) Pour la turbine, représenter la chaîne énergétique et exprimer le rendement η_t de ce convertisseur.
(b) Pour l'alternateur, représenter la chaîne énergétique et exprimer le rendement η_a de ce convertisseur.
2. (a) En utilisant les réponses précédentes, exprimer le rendement global de la centrale hydroélectrique.
(b) Les turbines ont un rendement proche de 55 % et les alternateurs de 75 %. En déduire la valeur du rendement global d'une telle installation.

Exercice 3 - Géothermie

La géothermie est basée sur l'exploitation de l'énergie thermique stockée dans le sous-sol. Cette énergie provient principalement de la désintégration des éléments radioactifs qui constituent la croûte terrestre et de la dissipation de l'énergie primitive accumulée depuis la création de notre planète. A quelques centaines de mètres de profondeur, il est possible d'obtenir des températures élevées qui vont servir à produire de la vapeur d'eau et en fin de processus à obtenir de l'énergie thermique.



Ainsi, la centrale géothermique de Bouillante en Guadeloupe génère une puissance de 15 MW, ce qui permet de couvrir 7 à 8 % de la consommation de l'île.

1. Représenter la chaîne énergétique d'une centrale géothermique.
2. Quels avantages présente ce type d'installation par rapport à des centrales à combustion classique?
3. On admet généralement qu'une tonne de pétrole peut fournir environ 10 GJ d'énergie électrique dans une centrale à combustion. Évaluer l'économie de pétrole réalisée sur une année par l'exploitation de la centrale de Bouillante.

Exercice 4 - Différents systèmes de stockage

Différents systèmes de stockage d'énergie existent. Ces systèmes ne sont cependant pas équivalents et sont plus ou moins adaptés à différentes situations.

	Supercondensateur	Batterie lithium-ion
Densité d'énergie Wh/kg	4 à 10	100 à 265
Puissance maximale W·kg ⁻¹	3 000 à 40 000	1 500
Nombre de cycles de charge	Jusqu'à 20 000 000	500 à 1 000
Rendement	Environ 98 %	Environ 90 %
Durée de décharge sans utilisation	Semaines	Mois

1 Comparaison d'un supercondensateur et d'une batterie lithium-ion.

Questions

1. Identifier l'intérêt de l'utilisation des supercondensateurs dans des bus de ville.
2. Expliquer pourquoi les batteries lithium-ion sont intéressantes pour le stockage d'énergie des smartphones.
3. Nommer des problèmes liés à l'extraction du lithium.

Les supercondensateurs sont testés dans des bus, notamment le modèle *Watt System* depuis 2014 en France. Leur grande puissance, par rapport aux batteries lithium-ion, les rend notamment intéressants lors des multiples démarrages des bus ainsi que pour la récupération d'une partie de l'énergie du freinage.

Les batteries lithium-ion ont quant à elles envahi notre quotidien. Elles ont l'avantage de posséder une densité d'énergie plus importante, et d'être de petite taille. Cependant, l'extraction des métaux tels que le lithium ou le cobalt interroge : grande consommation d'eau, possibilité de fuite de substances toxiques, toxicité forte du cobalt, etc.

Les conditions d'extraction en Chine et en Amérique du Sud sont également remises en cause : conditions de travail, travail des enfants, etc.

2 Des utilisations diverses, des impacts divers.

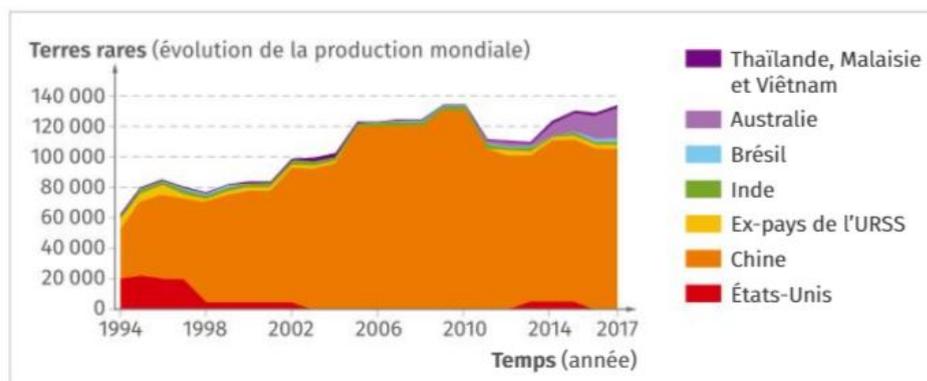
Exercice 5 - Les métaux rares

Les « terres rares » ou « métaux rares » ont été découverts entre la fin du XVIII^e siècle et le début du XIX^e siècle. Ils ont été désignés comme rares, car leur minerai paraissait peu abondant, dispersé et que la séparation des différents métaux du minerai extrait était difficile.

Ces métaux rares sont aujourd'hui classés dans la famille chimique des lanthanides. Ils sont aussi abondants sur Terre que le cuivre ou le nickel. Les métaux rares sont utilisés dans les aimants pour leurs propriétés magnétiques ou dans les DEL pour leurs propriétés optiques. Les conditions d'extraction sont cependant

problématiques. Les minerais extraits sont constitués de mélanges de lanthanides possédant des propriétés physico-chimiques très proches. Il est donc très difficile de les séparer les uns des autres. Les moyens mis

en œuvre sont des procédés complexes et polluants : rejets d'acides, de bases, de solvants, de métaux lourds ou de déchets radioactifs. Leur extraction se fait principalement en Chine à l'heure actuelle.



Questions

1. Pourquoi ces métaux ont-ils été qualifiés de « rares » ? Sont-ils réellement « rares » ?
2. Justifier la difficulté de séparer ces métaux du minerai extrait. Préciser où se fait majoritairement l'extraction.
3. Citer au moins deux applications des métaux rares.
4. Identifier le principal problème lié à leur exploitation.
5. Quel comportement adopter pour réduire la quantité de métaux rares extraits ?