

CH 2 - Conversion et transport de l'énergie électrique

Programme officiel :

Thème 2 : Le futur des énergies

Introduction et enjeux.

La consommation d'énergie joue un rôle essentiel dans le développement des sociétés humaines. Depuis la révolution industrielle, ce dernier s'est appuyé largement sur les combustibles fossiles dont l'utilisation est la principale cause du changement climatique. Produire de l'énergie sans contribuer au changement climatique ou à la dégradation de la planète est devenu un enjeu majeur de la transition écologique.

Objectifs.

Il est essentiel d'identifier les effets, sur la production de gaz à effet de serre, de la fabrication puis de l'usage de tout produit de consommation. L'identification d'autres effets collatéraux, notamment sur l'environnement et la santé, est importante.

Dans le secteur de l'énergie, l'électricité joue depuis deux siècles un rôle particulier. Produire de l'électricité sans contribuer au réchauffement climatique, en concevoir le stockage sous d'autres formes, assurer son transport, sont des enjeux fondamentaux à prendre en compte dans un contexte de transition écologique.

2.2 — Conversion et transport de l'énergie électrique

L'énergie électrique joue un rôle central aujourd'hui et présente plusieurs avantages : une distribution sûre, des réseaux de distribution étendus, des convertisseurs de bon rendement permettant d'obtenir l'énergie électrique ou de la transformer en d'autres formes d'énergie.

L'existence de procédés d'obtention d'énergie électrique sans combustion justifie son importance actuelle et future.

Savoirs	Savoir-faire
Trois méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion : - la conversion d'énergie mécanique, soit directe (dynamos, éoliennes, hydroliennes, barrages hydroélectriques), soit indirecte à partir d'énergie thermique (centrales nucléaires, centrales solaires thermiques, géothermie) ; - la conversion de l'énergie radiative reçue du Soleil (panneaux photovoltaïques) ; - la conversion électrochimique (piles ou accumulateurs conventionnels, piles à hydrogène).	Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie. Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie. ↔ Grandeurs et mesures. ↔ Grandeurs proportionnelles. ↔ Grandeurs quotients.
Ces méthodes sans combustion ont néanmoins un effet sur l'environnement et la biodiversité ou présentent des risques spécifiques (pollution chimique, déchets radioactifs, accidents industriels, etc.).	Analyser des documents présentant les conséquences de l'installation et du fonctionnement d'une centrale électrique.
Au cours du transport, une partie de l'énergie électrique, dissipée dans l'environnement par effet Joule, ne parvient pas à l'utilisateur. L'utilisation de la haute tension dans les lignes électriques limite les pertes par effet Joule, à puissance transportée fixée. Le réseau de transport de l'électricité est maillé au niveau européen. En cas de déséquilibre entre l'offre et la demande, il est nécessaire de mobiliser des réserves d'énergie, de diminuer la consommation ou la production ou de stocker de l'énergie. Pour faire face à l'intermittence liée à certains modes de production ou à la consommation, une possibilité est de convertir l'énergie électrique sous une forme stockable : - énergie chimique ; - énergie mécanique ; - énergie électromagnétique.	Utiliser les formules littérales reliant la puissance à l'intensité et la tension pour identifier l'influence de ces grandeurs sur l'effet Joule dans les lignes électriques. Comparer des dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères (capacité et durée de stockage, incidence écologique, masses mises en jeu par kilowattheure). ↔ Grandeurs quotients. ↔ Calcul littéral. ↔ Grandeurs et mesures.

CH 2 - Conversion et transport de l'énergie électrique

1. Obtenir de l'électricité sans combustion

L'énergie électrique présente de nombreux avantages :

- elle peut être distribuée facilement ;
- elle est sûre ;
- elle a un faible impact écologique ;
- elle peut être facilement transformée sous une autre forme d'énergie (chaleur, lumière, mouvement, ...).

Obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustions qui produisent des gaz à effet de serre, est un enjeu important pour l'avenir.

1.1. Conversion directe d'énergie mécanique

Comme nous l'avons déjà vu au chapitre précédent, l'**alternateur** permet de convertir directement l'énergie mécanique en énergie électrique.

C'est le procédé utilisé pour les dynamos, les éoliennes, les hydroliennes et les barrages hydroélectriques.



1.2. Conversion indirecte d'énergie mécanique

Dans ce cas, la conversion se fait en deux temps car il faut d'abord obtenir l'énergie mécanique à partir de la source d'énergie thermique.

C'est le procédé utilisé par les centrales nucléaires, les centrales solaires thermiques et la géothermie.



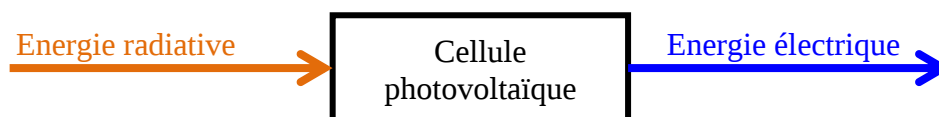
Remarque : Le rendement global du système de conversion se calcule par le produit des rendements de chaque étape. Dans le cas ci-dessus on aura donc :

$$r_{\text{global}} = r_{\text{convertisseur}} \times r_{\text{alternateur}}$$

1.3. Conversion d'énergie radiative du Soleil

Comme nous l'avons aussi vu au chapitre précédent, une **cellule photovoltaïque** permet de convertir directement l'énergie radiative du Soleil en énergie électrique.

C'est le procédé utilisé pour les panneaux photovoltaïques.



1.4. Conversion électrochimique

L'électrochimie consiste à produire de l'électricité à partir de réactions chimiques appelées réactions d'oxydoréduction. Pour ce faire il faut relier par un fil conducteur deux électrodes plongées dans une solution conductrice. Le transfert d'électrons d'un réactif à l'autre se fait alors en passant dans le fil conducteur : on obtient un courant électrique.

C'est le procédé utilisé dans les piles et les accumulateurs et plus récemment dans les piles à hydrogène.



Remarques :

- quand les réactifs de la pile ont été consommés, elle est usée, on ne peut plus l'utiliser.
- un accumulateur, appelé aussi « batterie », est une pile que l'on peut recharger si on lui fournit du courant électrique. Les réactions chimiques sont donc réversibles.
- les piles à hydrogène ont l'avantage de ne rejeter que de l'eau.

2. Impacts environnementaux

Les méthodes sans combustion ont un impact sur l'environnement et la biodiversité et présentent des risques spécifiques. En voici quelques exemples :

2.1. Gaz à effet de serre

L'extraction des matières premières, leur transport et leur transformation vont émettre des gaz à effet de serre.

Exemple :

Pour fabriquer du béton il faut des fragments de roche (prélevés dans une carrière ou une rivière) et du ciment (obtenu par calcination du calcaire également extrait de carrières). Les engins de chantier, les transports et les usines de fabrication vont donc émettre une grande quantité de gaz à effet de serre.

Or une centrale hydraulique nécessite un barrage qui est constitué d'une énorme quantité de béton. Tout comme les éoliennes qui doivent être ancrées dans un socle en béton suffisamment lourd pour les maintenir.

2.2. Terres rares

Les terres rares sont un groupement de dix-sept éléments utilisés principalement dans les produits de haute technologie et contrairement à leur nom, ces métaux ne sont pas forcément rares. Le cérium par exemple est aussi répandu dans l'écorce terrestre que le cuivre par contre l'euprimum est très rare.

La demande la plus importante concerne le néodyme, pour fabriquer des aimants par exemple dont la première application concerne les éoliennes (dans l'alternateur) ou dans les moteurs de voitures électriques.

L'extraction et le raffinage des terres rares entraînent le rejet de nombreux éléments toxiques : métaux lourds, acide sulfurique ainsi que des éléments radioactifs (uranium et thorium). Un gisement peut contenir un kilogramme de terre rare pour une tonne de restes ! Leur exploitation génère donc beaucoup de rejets et demande beaucoup d'énergie.

2.3. Environnement et biodiversité

L'environnement et la biodiversité sont fortement impactés sur les sites d'extraction des matières premières par la modification du lieu mais aussi par les nombreux rejets toxiques et/ou radioactifs qui vont polluer l'air, l'eau et les sols durablement.

L'impact peut être tout aussi important sur les lieux de production de l'électricité. En effet, un barrage par exemple nécessite une très grande modification du paysage (il faut inonder une grande surface) et une modification de l'écosystème local (poissons migrateurs...). Autre exemple avec les éoliennes qui dénaturent le paysage et ont des effets néfastes sur les oiseaux et les chauves-souris.

2.4. Risques spécifiques

La production d'énergie électrique sans utiliser les combustions présente également des risques spécifiques comme les accidents industriels (rupture d'un barrage, défaut de fonctionnement d'un site, ...); les pollutions chimiques (métaux lourds polluants dans les piles par exemple) ou les déchets radioactifs (déchets des centrales nucléaires).

3. Le transport de l'électricité en France

De la centrale de production électrique aux prises de courant du consommateur il y a une certaine distance à parcourir à l'aide de câbles conducteurs, ce qui n'est pas sans difficultés du fait des pertes par effet Joule.

3.1. L'effet Joule

Tout matériau conducteur chauffe au passage du courant électrique : c'est l'**effet Joule**. Plus le matériau résiste, plus il chauffe. Plus l'intensité du courant est élevée, plus il chauffe. En effet, si l'on reprend les formules vues au collège sur les conducteurs ohmiques (les « résistances ») on a :

$$P = U \times I$$

$$U = R \times I$$

$$E = P \times \Delta t$$

Ainsi on a $P = R \times I^2$

d'où

$$E_{\text{Joule}} = R \times I^2 \times \Delta t$$

P : puissance en W (Watt)

U : tension en V (Volt)

I : intensité en A (Ampère)

R : résistance en Ω (ohm)

E : énergie en J (Joule)

Δt : durée en s (seconde)

L'énergie électrique transformée en énergie thermique est donc proportionnelle à la résistance du matériau, au carré de l'intensité du courant électrique et à la durée.

Quand il s'agit de chauffer comme pour un radiateur, un sèche-cheveux, un grille-pain, une bouilloire, ... cet effet Joule est très utile. Quand il s'agit juste d'un câble pour transporter l'électricité ou tout autre appareil comme un ordinateur, un téléviseur, ... cet effet Joule correspond à des pertes qu'on essaie de limiter.

3.2. Les transformateurs

Un transformateur est un appareil capable de modifier la tension et l'intensité d'un courant alternatif grâce au phénomène d'induction électromagnétique (voir CH 1). Il fait alors le lien entre un circuit primaire et un circuit secondaire et a un excellent rendement.

La puissance reçue du circuit primaire est $P_1 = U_1 \times I_1$.

La puissance donnée au circuit secondaire est $P_2 = U_2 \times I_2$.

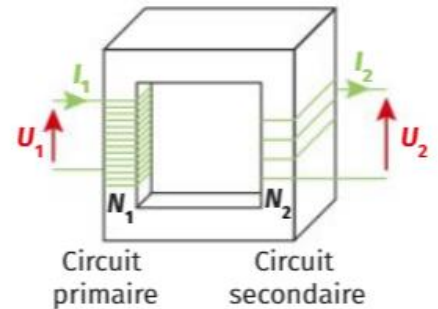
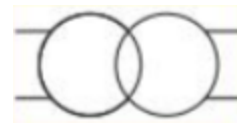
En supposant que les pertes sont négligeables on a alors $P_1 = P_2$.

On définit alors le rapport du transformateur m par :

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

N_1 et N_2 sont le nombre d'enroulements de fil.

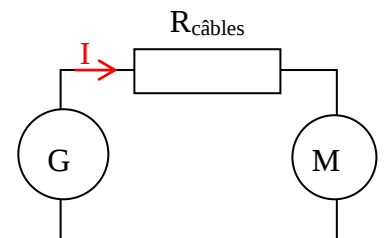
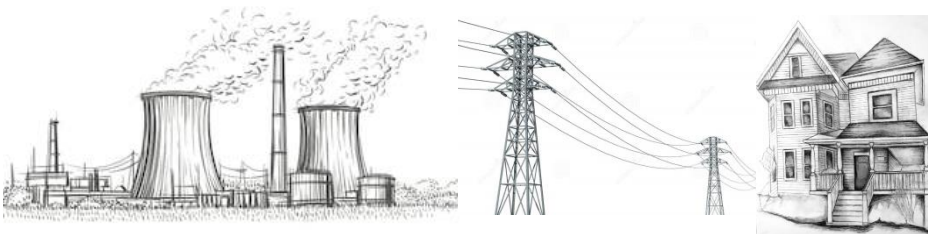
Le symbole électrique d'un transformateur est :



3.3. Le réseau électrique en France

Nécessiter de limiter les pertes :

Si l'on schématise le plus simplement possible le principe d'une maison alimentée par une centrale on a :



Avec G pour le générateur, R pour la résistance des câbles et M pour un éventuel moteur dans une maison.

Dans ce cas les pertes par effet Joule seraient considérables du fait de l'intensité élevée du courant dans les câbles.

Exemple informel de calcul :

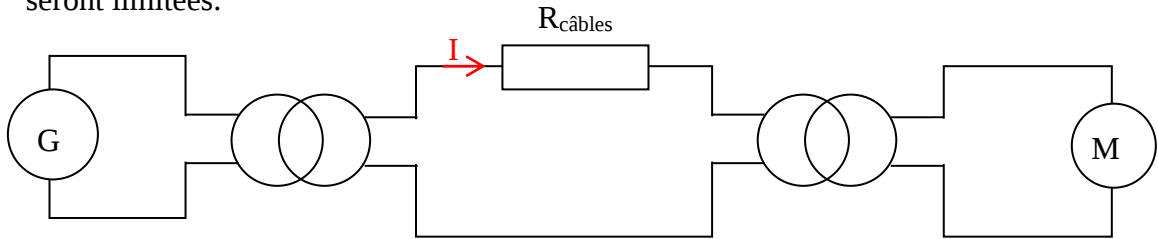
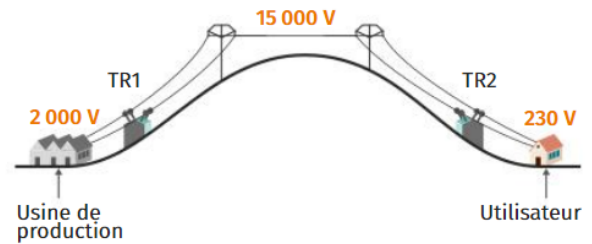
En prenant une petite centrale qui fournirait une puissance $P_G = 40 \text{ kW}$ avec une tension $U = 2000 \text{ V}$, l'intensité du courant dans les câbles serait $I = P_G / U = 20 \text{ A}$.

Avec une résistance $R = 10 \Omega$ (qui représenterait environ 100 km de câbles HT à $0,1 \Omega/\text{km}$) la perte par effet joule serait $P_J = RI^2 = 4 \text{ kW}$!

Ainsi 10 % de l'énergie fournie servirait à chauffer les câbles !

Utilisation des transformateurs :

Le transformateur permet de diminuer l'intensité du courant en élevant la tension et inversement. Ainsi, en élevant la tension pour le transport, les pertes par effet Joule seront limitées.

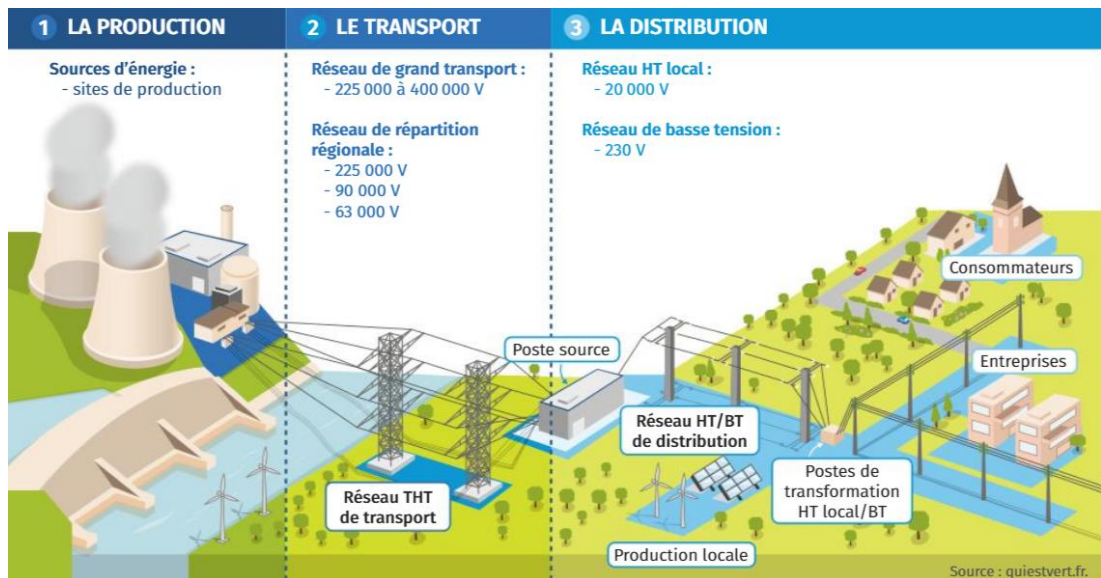


Exemple informel de calcul :

En reprenant l'exemple précédant et en élevant la tension à 15 000 V pour le transport, l'intensité du courant dans les câbles ne serait plus que de $I = P_G / U = 2,7 \text{ A}$. La perte par effet joule ne serait plus que $P_J = RI^2 = 71 \text{ W}$ soit seulement 0,2%.

Le réseau électrique en France :

C'est ainsi que l'on a développé le réseau électrique en plaçant plusieurs transformateurs allant de la Très Haute Tension (THT) à la Basse Tension (BT).



La France maillée au niveau européen :

Le réseau de transport de l'électricité est maillé au niveau européen. En cas de déséquilibre entre l'offre et la demande, il est nécessaire de mobiliser des réserves d'énergie, de diminuer la consommation ou la production ou de stocker de l'énergie.

4. Stockage

Pour faire face à l'intermittence liée à certains modes de production ou à la consommation, ou en cas de déséquilibre entre l'offre et la demande, l'énergie électrique doit être convertie sous une forme stockable.

4.1. En énergie chimique

L'énergie électrique est convertie en énergie chimique dans des accumulateurs (pile rechargeable) qui pourront alors délivrer l'électricité quand il y en aura besoin.

4.2 En énergie mécanique

Dans ce cas c'est une réserve d'eau en hauteur (barrage) qui constitue le stock. En faisant tomber l'eau à la demande, cette énergie mécanique est alors convertie en énergie électrique par l'alternateur.

4.3 En énergie électromagnétique

Une charge électrique peut être directement stockée dans un condensateur. C'est ce dispositif qui est utilisé dans certaines machines pour le démarrage du moteur (sèche-linge, lave-linge, ...). Pour des besoins plus grands on parle alors de super condensateurs.