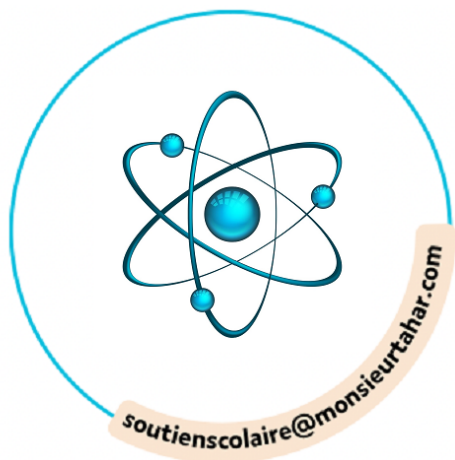


ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE



PHYSIQUE - CHIMIE

CHAPITRE 1

La production d'électricité sans combustion



La forte demande mondiale en électricité et les enjeux climatiques poussent nos sociétés vers des modes de production bas-carbone, sans combustion.

I L'électricité, une forme d'énergie privilégiée

● Contrairement au charbon, au pétrole ou à l'uranium, l'**électricité** n'est pas une source d'**énergie primaire**. Il s'agit d'une **énergie secondaire** utilisée comme **vecteur énergétique**, qui permet l'acheminement facile et efficace d'énergie d'un endroit à un autre, même sur des milliers de kilomètres.

Mot clé

Une **énergie primaire** est disponible à l'état brut dans la nature.

● L'énergie électrique est obtenue à partir de la **conversion** d'une énergie primaire **mécanique** (force de l'eau des rivières, des marées ou du vent), **chimique** (contenue dans les combustibles fossiles, dans la biomasse, etc.), **nucléaire**, **solaire** ou **géothermique** (chaleur du sol ou du sous-sol terrestre).

● En passant de l'énergie primaire à l'**énergie finale** (consommation finale), l'énergie suit une série de transformations et de transports : la **chaîne énergétique**.

● L'électricité représente près de 20 % de l'énergie finale mondiale. Elle est **convertie** dans les appareils électriques en d'autres formes d'énergie pour satisfaire les besoins élémentaires de nos sociétés : mettre en mouvement, chauffer, éclairer, transmettre une information, etc.

II Trois méthodes de production bas-carbone

1 La conversion d'énergie mécanique

● Dans les centrales thermiques, hydroélectriques, marémotrices et dans les éoliennes, l'**énergie cinétique de rotation** produite par la turbine (ou les pales pour l'éolienne) est convertie en **énergie électrique** par l'alternateur ► **FICHE 19**.

Mot clé

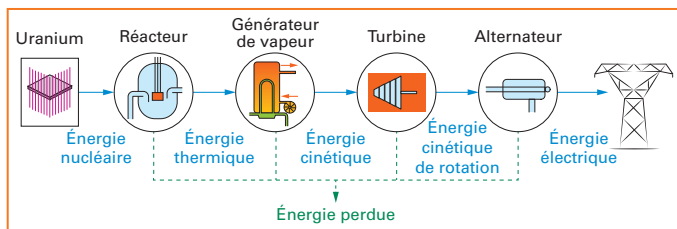
L'**énergie mécanique** d'un système est emmagasinée sous forme cinétique et/ou potentielle.

● L'**énergie mécanique** utilisée par la turbine est issue d'une **conversion directe** si la centrale utilise une énergie primaire mécanique.

Dans une centrale hydroélectrique, par exemple, l'énergie potentielle de l'eau stockée dans le barrage est convertie en énergie cinétique *via* la chute d'eau avant d'entraîner la turbine.

❶ L'énergie mécanique utilisée par la turbine est issue d'une **conversion indirecte** (doc.) si la centrale suit une chaîne de transformations utilisant une conversion « **chaleur-mouvement** ». À l'instar d'une centrale thermique où de la chaleur est produite puis transmise à un fluide caloporteur qui entraîne la turbine.

DOC. La conversion indirecte dans une centrale nucléaire



2 La conversion d'énergie radiative solaire

❶ Les panneaux photovoltaïques captent l'**énergie radiative** du Soleil et la convertissent en **courant électrique continu**. Un **onduleur** permet ensuite de transformer l'électricité obtenue en courant alternatif compatible avec le réseau.

❷ Chaque panneau est un assemblage de cellules photovoltaïques **FICHE 21** utilisant différentes technologies basées à 90 % sur le silicium cristallin et à 10 % sur les couches minces.

3 La conversion électrochimique

❶ Les dispositifs électrochimiques (accumulateurs et piles à hydrogène) sont des **convertisseurs** clés dans le domaine du petit appareil portable (téléphone portable, appareil photo, etc.), du transport automobile ou du stockage de l'énergie.

❷ Ces dispositifs transforment l'énergie chimique en énergie électrique ou inversement pour le stockage d'énergie électrique **FICHE 25**.

À noter

Les **véhicules à pile à combustible** sont propulsés par de l'électricité produite à partir d'hydrogène et d'oxygène, ne rejetant que de l'eau. 12 000 véhicules de ce type circulent dans le monde, mais il pourrait y en avoir des millions à l'horizon 2030.

La face cachée de l'électricité bas-carbone



Les besoins en matières premières des secteurs-clés de la transition énergétique (l'éolien, le solaire, le stockage de l'énergie) ne cessent d'augmenter ; cela n'est pas sans conséquences sur l'environnement.

I Les besoins en matières premières

● La tour et la nacelle d'une **éolienne** nécessitent de l'acier pour supporter le dispositif qui convertit l'énergie du vent en électricité.

Cette électricité est induite par un champ magnétique, lui-même généré par des **aimants** permanents et puissants – riches en **terres rares** – ou par des aimants classiques et des bobinages en cuivre.

● Un panneau photovoltaïque est composé de **cellules semi-conductrices** ► **FICHE 20**, la plupart du temps en **silicium**, enveloppées dans une double couche protectrice de polymère. Le tout est rendu rigide par des plaques de verre souvent entourées d'un cadre en aluminium.

Certaines cellules sont fabriquées selon d'autres technologies : c'est le cas des cellules à couches minces ► **FICHE 23** dites CdTe ou GIGS. Elles utilisent des composés à base de terres rares, comme le tellure, le cadmium ou encore le gallium, l'indium et le sélénium.

II Les conséquences de l'exploitation des gisements

1 Les terres rares, une exploitation stratégique mais polluante

● Les **terres rares** sont des éléments stratégiques aussi bien pour la fabrication de puces électroniques que pour celle d'éoliennes, de certains moteurs électriques et de panneaux solaires.

● Les terres rares sont présentes sous forme agglomérée dans certains types de minerais (notamment la bastnaésite et le monazite) et dans certaines roches. Pour les **extraire** et les **séparer**, on fait appel à des procédés délicats et complexes (extraction liquide-liquide, résines échangeuses d'ions, etc.).

À savoir

Les terres rares sont des métaux qui possèdent des propriétés électroniques, magnétiques, optiques et catalytiques très utiles pour de nombreuses applications.

Ces **procédés** sont **énergivores** et notoirement **polluants** : rejets d'acides, de bases, de solvants, de métaux lourds ou d'éléments radioactifs.

■ En 2018, la Chine a produit 70 % des terres rares mondiales (soit 120 000 tonnes). Dans ce pays, les normes environnementales ne sont actuellement pas aussi strictes que dans les pays occidentaux.

DOC. Mine de terres rares (Chine)



2 Le silicium, une purification coûteuse pour l'environnement

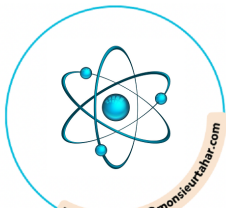
■ 90 % des cellules photovoltaïques utilisent le silicium comme semi-conducteur. Pour obtenir du silicium de qualité « solaire », de nombreuses étapes sont nécessaires depuis son **extraction** dans des gisements de silice de haute pureté (souvent issus du quartz) jusqu'à sa **purification** extrêmement poussée (à 99,9999 %).

■ Au-delà de l'aspect visuel, l'exploitation des carrières de silice engendre des impacts environnementaux sur :

- la **qualité de l'eau** (contamination des nappes souterraines et des eaux superficielles, modification des écoulements, etc.) ;
- le **sol** et la **végétation** (effondrement et érosion, atteintes aux zones boisées et à la **biodiversité**, etc.) ;
- la **qualité de l'air** (impact sanitaire dû à l'exposition aux poussières, notamment).

■ Une fois extrait, le silicium doit être **raffiné** par voies métallurgique et/ou chimique. Le traitement industriel du silicium est un grand consommateur de **produits chimiques** souvent toxiques, d'**eau** et d'**énergie** ; il engendre également une quantité importante de **déchets** de fabrication.

Par exemple, dans la « Silicon Valley », berceau de la production de semi-conducteurs à la fin du xx^e siècle, des **effluents** toxiques ont été régulièrement rejetés dans l'environnement, polluant gravement les nappes phréatiques.



Le stockage de l'électricité



Les politiques environnementales actuelles donnent la priorité aux ressources renouvelables intermittentes et amènent les technologies à évoluer pour rendre l'électricité stockable.

I La nécessité du stockage de l'électricité

Le stockage de l'énergie électrique représente une composante essentielle de la **transition énergétique**, car il permet d'ajuster au mieux la production électrique à la consommation tout en limitant les pertes. Il se révèle nécessaire pour bien intégrer dans le **mix énergétique** les énergies renouvelables, car elles sont intermittentes et fluctuantes.

De plus, le développement des équipements portatifs (téléphone, ordinateur, perceuse-visseuse sans fil, etc.) et des véhicules hybrides ou électriques nécessite des formes de stockage performantes et peu volumineuses.

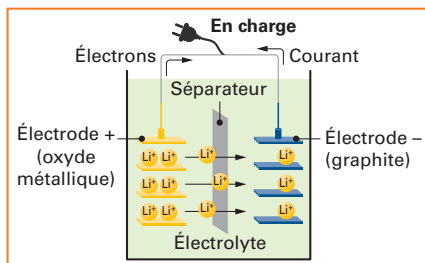
II Une électricité, trois formes de stockage

1 Les accumulateurs et l'énergie chimique

Un **accumulateur** est un système qui transforme de manière réversible l'**énergie chimique en énergie électrique** à partir de **réactions d'oxydoréduction**. En mode « accumulateur » (la charge), l'énergie est stockée sous forme chimique. En mode « générateur » (la décharge), l'énergie est restituée sous forme électrique.

L'**accumulateur lithium-ion** représente une bonne solution pour alimenter en électricité les **appareils nomades** et les **véhicules électriques**. Il libère de l'électricité par échange réversible d'ions lithium entre deux **électrodes**, en graphite et en oxyde métallique. Cet échange se fait à travers un **électrolyte**.

DOC. 1. Accumulateur lithium-ion



2 Les barrages et l'énergie potentielle

■ Lorsque la production d'énergie électrique est excédentaire, la principale solution consiste à stocker le surplus sous forme d'**énergie potentielle** de l'eau.

■ Elle est mise en œuvre dans des centrales hydroélectriques réversibles ou **stations de transfert d'énergie par pompage** (STEP). Ces installations sont composées de deux bassins situés à des altitudes différentes : elles permettent de stocker de l'énergie, en **pompant** l'eau du bassin inférieur

vers le bassin supérieur, lorsque la demande électrique est faible ; elles la restituent au réseau électrique, en **turbinant** l'eau du bassin supérieur, lorsque la demande devient plus forte.

■ Pour produire 1 MWh d'électricité, une STEP consomme près de 1,25 MWh pour pomper l'eau au préalable. Le rendement de cette installation est donc voisin de 80 % : $\eta = \frac{\text{Énergie électrique produite}}{\text{Énergie électrique consommée}} = \frac{1}{1,25} = 0,8$.

3 Les supercondensateurs et l'énergie électromagnétique

■ Certains dispositifs permettent de stocker directement de l'énergie sous forme électrique : il s'agit principalement des **supercondensateurs**. On peut notamment les trouver dans les systèmes stop & start de certains véhicules.

■ D'autres pistes d'avenir se destinent au stockage de grandes quantités d'énergie à l'instar du **stockage électromagnétique** à base de matériaux **supraconducteurs**.

À noter

Stockée au niveau du barrage, l'**énergie potentielle** de l'eau est transformée en énergie cinétique par la conduite forcée de la centrale hydroélectrique.

DOC. 2. Fonctionnement d'une STEP

