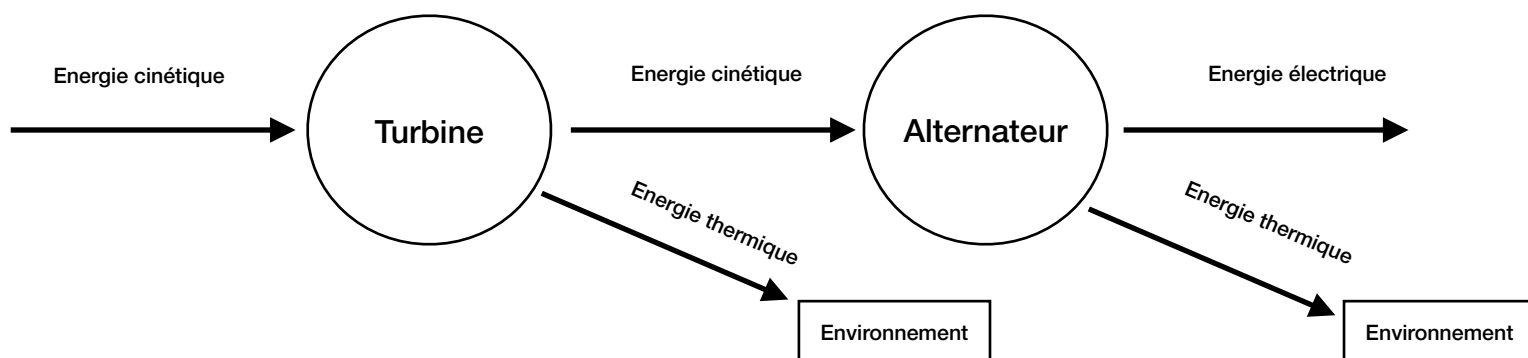


Correction du chapitre 5 = Leçon sur le chapitre 5

I) Les trois méthodes pour obtenir de l'énergie électrique sans combustion

A) La conversion de l'énergie mécanique

Chaîne énergétique d'un convertisseur mécanique :



La méthode produisant le moins de dioxyde de carbone est l'hydraulique car il n'y a pas de combustion.

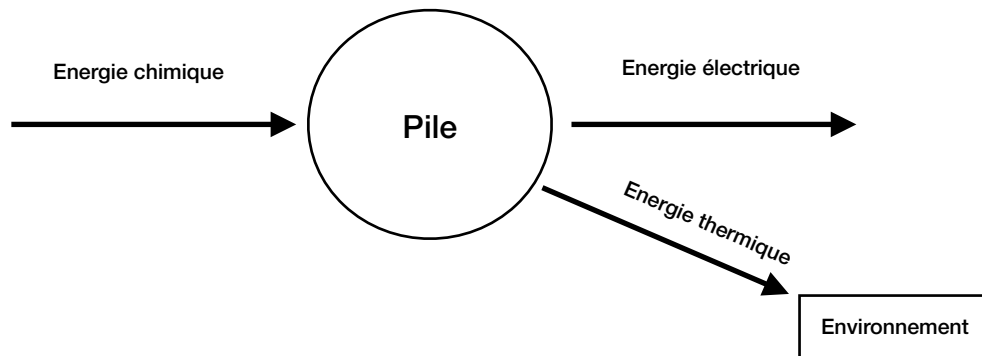
La puissance absorbée dans le barrage est de $1,9 \times 10^9 W$. Le rendement est de 95%. C'est un rendement très élevée par rapport à ceux des autres méthodes d'obtention de l'énergie électrique.

Le turbinage correspond à la phase où l'eau s'écoule du bassin supérieur vers le bassin inférieur en entraînant une turbine. L'énergie potentielle de pesanteur de l'eau est alors convertie en énergie cinétique, puis en énergie électrique grâce à l'alternateur. Le pompage, au contraire, est l'opération inverse : on utilise de l'électricité pour actionner des pompes qui font remonter l'eau du bassin inférieur vers le bassin supérieur. Cette opération consomme de l'énergie, mais permet de stocker de l'énergie sous forme d'énergie potentielle dans le bassin supérieur. (Voir schéma dans le dossier 5)

La filière hydroélectrique a pour avantages de fournir de l'énergie renouvelable peu émettrice de dioxyde de carbone avec un excellent rendement et de stocker l'énergie pour certaines centrales. Mais les barrages doivent se situer dans des régions montagneuses avec de grandes vallées, perturbent l'écosystème naturel et ont des coûts importants. EDF manque de sites en France.

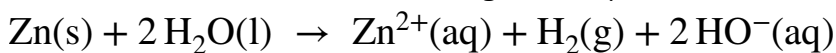
B) La conversion électrochimique

Diagramme de conversion d'énergie d'une pile.



Le courant délivré par une pile ou une batterie est continu. Il y a une borne + et une borne -.

La réaction modélisant la décharge de la pile est :

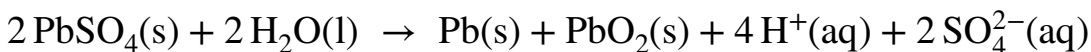


Le dihydrogène étant un gaz, il est perdu au cours de la transformation la rendant irréversible.

La réaction modélisant la décharge de la batterie est :



La réaction modélisant la charge de la batterie est :

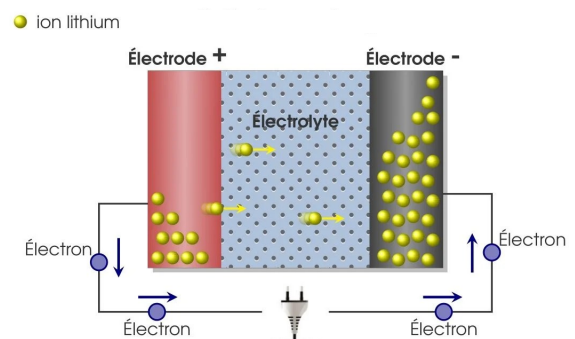


Il y a conservation des produits donc la batterie est bien rechargeable.

On ne peut pas parler de pile à hydrogène car elle est rechargeable. On refait le plein. C'est donc une pile à combustion. Les bus sont à énergie propre car le produit formé est de l'eau.

Une batterie en charge (le sens de circulation est inversé en décharge) :

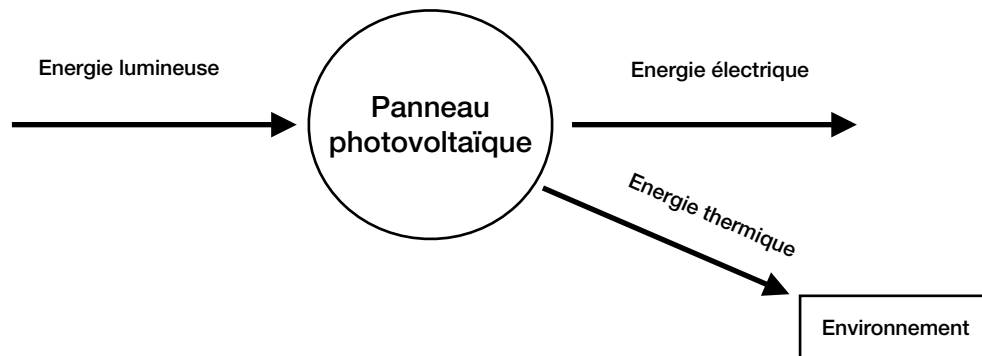
La batterie LFP est la plus sûre avec une durée de vie plus longue et une meilleure résistance aux hautes températures. La batterie NMC a une densité énergétique plus élevée donc elle est moins lourde. Les deux ont des rendements élevés.



Les piles et les batteries stockent de l'énergie chimique. Elles doivent être recyclées car elles contiennent des ressources néfastes aux êtres humains et à l'environnement.

C) La conversion de l'énergie radiative reçue par le Soleil

Diagramme de conversion d'énergie d'un panneau photovoltaïque.



II) Les effets sur l'environnement, la biodiversité et les risques spécifiques de ces méthodes sans combustion

A) Évolution de la production mondiale d'électricité et problématiques futures

Depuis la fin du XIX^e siècle, la production mondiale d'électricité n'a cessé de croître, en lien direct avec l'industrialisation, l'urbanisation et l'augmentation de la population mondiale. Au départ, elle reposait presque uniquement sur le charbon et l'hydraulique, puis le pétrole, le gaz naturel et enfin le nucléaire ont pris une place importante au XX^e siècle. Depuis une vingtaine d'années, les énergies renouvelables comme l'éolien et le solaire connaissent un fort développement, même si elles restent encore minoritaires à l'échelle mondiale.

Dans l'avenir, l'humanité devra relever plusieurs défis : limiter les émissions de gaz à effet de serre pour réduire le changement climatique, répondre à une demande énergétique toujours croissante, trouver des solutions de stockage efficaces pour compenser l'intermittence des énergies renouvelables, et limiter l'impact environnemental et social des infrastructures énergétiques.

B) Avantages et inconvénients des différentes filières

- Hydraulique : Avantage → énergie renouvelable, pilotable et stockable grâce aux STEP. Inconvénient → impact environnemental important sur les écosystèmes et nécessité de zones montagneuses.
- Nucléaire : Avantage → production massive et continue avec très peu d'émissions de CO₂. Inconvénient → gestion des déchets radioactifs et risques d'accident.
- Éolien : Avantage → énergie renouvelable et sans émissions de gaz à effet de serre lors du fonctionnement. Inconvénient → production intermittente et dépendante des conditions météorologiques.
- Solaire : Avantage → énergie renouvelable, disponible partout et modulable sur les toitures. Inconvénient → intermittence jour/nuit et rendement limité.

- Combustibles fossiles (charbon, gaz, pétrole) : Avantage → technologies maîtrisées, production flexible et importante. Inconvénient → fortes émissions de CO_2 responsables du changement climatique.

Chaque mode de production d'électricité possède à la fois des atouts et des limites. Les énergies renouvelables sont propres mais intermittentes, le nucléaire est puissant mais soulève des questions de sécurité et de déchets, les combustibles fossiles sont efficaces mais très polluants, et l'hydraulique est fiable mais perturbe fortement les écosystèmes.

Ainsi, il n'existe pas de solution unique et parfaite. L'avenir de la production d'électricité repose sur un mix énergétique, c'est-à-dire une combinaison de plusieurs filières permettant de garantir à la fois sécurité d'approvisionnement, limitation de l'impact environnemental et maîtrise des coûts.

III) Le réseau de transport électrique européen et ses limites

La production et la consommation d'électricité doivent en permanence être équilibrées. Or, avec l'intégration croissante d'énergies renouvelables intermittentes (éolien, solaire), il devient plus difficile de prévoir et d'ajuster cet équilibre. Les smart grids (réseaux électriques intelligents) permettent de collecter et d'analyser en temps réel des données de consommation et de production afin d'optimiser l'injection d'électricité, de mieux gérer la demande et de faciliter l'intégration des sources renouvelables.

Lors du passage du courant dans les lignes électriques, une partie de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur à cause de la résistance des câbles : c'est l'effet Joule. Cette énergie perdue ne peut pas être récupérée et réduit donc le rendement global du transport d'électricité. Plus le courant est fort, plus ces pertes sont importantes.

La loi d'Ohm donne : $U=RxI$ et la puissance électrique est $P=UxI$.

En combinant les deux, on obtient la puissance dissipée par effet Joule : $P_J = R \times I^2$. Cela montre que les pertes augmentent avec le carré de l'intensité. Ainsi, si l'intensité I est divisée par 2, la puissance dissipée par effet Joule est divisée par $2^2 = 4$.

Leviers pour réduire les pertes par effet Joule

- Réduire la résistance des câbles (en utilisant de meilleurs conducteurs, plus épais, ou en diminuant leur longueur).
- Réduire l'intensité du courant transporté en augmentant la tension, grâce à des transformateurs élévateurs de tension.
- Répartir la production au plus près des lieux de consommation (production décentralisée).

Le levier le plus efficace est l'élévation de la tension : à puissance constante, cela permet de réduire fortement l'intensité, et donc les pertes proportionnelles à I^2 .

Un réseau électrique interconnecté, comme le réseau européen, permet de mutualiser les moyens de production et de faire face à des variations locales de consommation ou de production. Si un pays produit un surplus, il peut l'exporter vers un autre en déficit.

De plus, pour maintenir la fréquence du courant alternatif à 50 Hz, l'équilibre doit être conservé en permanence. Si un déséquilibre apparaît, des réserves de puissance sont mobilisées dans l'ordre :

- Primaire (automatique et très rapide, quelques secondes),
- Secondaire (en quelques minutes),
- Tertiaire (en dizaines de minutes, pour stabiliser durablement).

IV) Les méthodes de stockage de l'énergie pour faire face à l'intermittence de certains modes de production ou à la consommation

Forme d'énergie stockée selon les systèmes

- STEP (Station de Transfert d'Énergie par Pompage) : énergie potentielle gravitationnelle de l'eau dans le bassin supérieur.
- Accumulateur (batterie lithium-ion par ex.) : énergie chimique.
- Volant d'inertie : énergie cinétique de rotation.
- Dihydrogène (H_2) : énergie chimique (stockée dans les liaisons de la molécule).

Le bassin supérieur de la STEP de Grand Maison permet de stocker de l'énergie grâce à l'eau accumulée. Chaque tonne d'eau peut produire 272 watt-heures d'électricité lors de la phase de restitution. Cependant, pour produire cent kilowatt-heures, il est nécessaire de consommer 125 kilowatt-heures lors du pompage, ce qui traduit les pertes d'énergie liées au système. Le rendement η se calcule par le rapport de l'énergie restituée sur l'énergie consommée, soit : $\eta = \frac{100}{125} = 0,8$ c'est-à-dire un rendement de 80%.

En ce qui concerne la densité énergétique, une tonne d'eau, soit mille kilogrammes, permet de produire 272 watt-heures. Cela correspond à : $\frac{272}{100} = 0,272 \text{ Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$.

On constate donc que, malgré un rendement élevé, la densité énergétique de l'eau est très faible par rapport à d'autres solutions de stockage.

Le stockage sous forme de dihydrogène repose sur l'électrolyse de l'eau puis l'utilisation d'une pile à combustible pour restituer l'électricité. Néanmoins, ce procédé est peu efficace : pour obtenir cent kilowatt-heures restitués, il faut consommer environ quatre cent quarante kilowatt-heures. Le rendement est donc :

$$\eta = \frac{100}{440} = 0,227 \text{ soit environ } 23\%.$$

Ce rendement assez faible limite son usage massif. Cependant, le dihydrogène présente un atout majeur : sa densité énergétique atteint environ 33 kilowatt-heures par kilogramme, ce qui est extrêmement élevé par rapport aux autres systèmes de stockage. Cela explique pourquoi, malgré son faible rendement, il est considéré comme

une solution prometteuse pour l'avenir, notamment dans les secteurs nécessitant une forte autonomie énergétique comme les transports.

Systeme	Forme d'énergie	Rendement	Densité énergétique	Contraintes environnementales
STEP	Potentielle gravitationnelle	~80 %	Très faible (~0,27 W·h/kg)	Impact fort sur le paysage, biodiversité et consommation d'eau
Accumulateur (Li-ion)	Chimique	~90 %	Moyenne (~200 W·h/kg)	Extraction polluante des métaux, recyclage difficile
Volant d'inertie	Cinétique	~80 %	Quelques centaines W·h/kg	Besoin de matériaux solides, installation locale (pas de gros impact environnemental global)
Dihydrogène (H₂)	Chimique	~22 %	Très élevée (33 000 W·h/kg)	Stockage difficile (pression, température), risques de fuite, infrastructures coûteuses