

## 2.2 Les atouts de l'électricité

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.

Savoirs	Savoir-faire
<p>Trois méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 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) ;</li><li>- la conversion de l'énergie radiative reçue du Soleil (panneaux photovoltaïques) ;</li><li>- la conversion électrochimique (piles ou accumulateurs conventionnels, piles à hydrogène).</li></ul> <p>Ces méthodes sans combustion ont néanmoins un impact sur l'environnement et la biodiversité ou présentent des risques spécifiques (pollution chimique, déchets radioactifs, accidents industriels...).</p> <p>Pour faire face à l'intermittence liée à certains modes de production ou à la consommation, l'énergie électrique doit être convertie sous une forme stockable :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- énergie chimique (accumulateurs) ;</li><li>- énergie potentielle (barrages) ;</li><li>- énergie électromagnétique (super-capacités).</li></ul>	<p>Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie.</p> <p>Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie.</p> <p>Analyser des documents présentant les conséquences de l'utilisation de ressources géologiques (métaux rares, etc.).</p> <p>Comparer différents dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères (masses mises en jeu, capacité et durée de stockage, impact écologique).</p>

### Prérequis et limites

Les lois de l'électricité, les notions d'énergie et de puissance électriques ainsi que celles d'énergie cinétique et potentielle, déjà rencontrées, sont mobilisées. Aucune expression d'énergie stockée par un système donné n'est exigible.

## ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE 4 : ÉNERGIE STOCKÉE DANS UN BARRAGE (P. 119)

Cette activité permet d'étudier une chaîne énergétique complète en partant de l'eau du barrage pour aller jusqu'à l'appareil électrique, et donc de calculer le rendement global du système. Chaque conversion énergétique entraîne des pertes plus ou moins importantes, les rendements des dispositifs ne sont pas égaux à 1.

### Lien avec le programme :

- 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.

### Objectifs notionnels :

- Réaliser des chaînes de transformations énergétiques.
- Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie.
- Calculer différentes formes d'énergie.
- Identifier les sources de pertes énergétiques.

### Objectifs méthodologiques :

- Extraire et organiser l'information utile.
- Utiliser le calcul littéral.
- Exprimer une grandeur physique dans son unité adaptée.
- Mettre en œuvre un raisonnement.

Durée estimée : 30 minutes.

## Présentation des documents

### Document 1 : Batterie d'un smartphone

Ce document illustre une batterie de smartphone et ses valeurs nominales. Le texte donne des précisions sur les batteries lithium-ion (durée de vie, densité énergétique, rendement).

### Document 2 : Production d'électricité

Ce texte donne des informations sur le barrage hydroélectrique de Hoover au Canada.

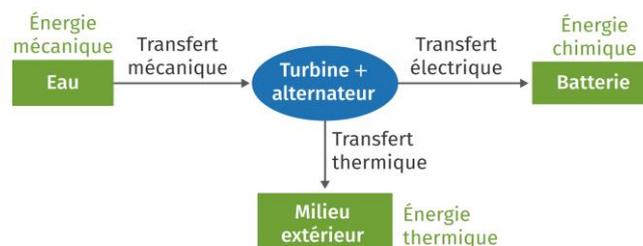
### Document 3 : Transport de l'énergie électrique

Ce texte évoque le transport de l'énergie électrique des centrales aux utilisateurs.

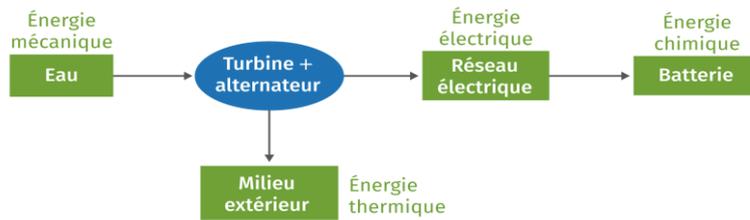
## Réponses attendues aux questions :

1. L'énergie nécessaire pour remplir complètement la batterie du smartphone est :  
 $E_{el} = 11,40 \text{ W} \cdot \text{h}$  soit  $E_{el} = 11,40 \times 3\,600 = 41,04 \times 10^3 \text{ J} = 41,04 \text{ kJ}$

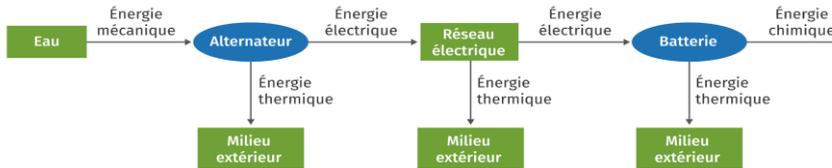
2. La chaîne énergétique de l'ensemble du parcours de l'énergie du barrage à la batterie est :  
Proposition 1 :



Proposition 2 :



Proposition 3 :



3. Les pertes énergétiques au niveau de la centrale hydroélectrique viennent de l'alternateur (pertes thermiques) et des frottements de l'eau sur la conduite forcée.

4. Le rendement de la centrale hydraulique est :

$$r_{\text{centrale}} = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{fournie}}} = \frac{2\,080}{3\,600 - 1\,270 - 60} = 0,92 = 92\%$$

Remarque : il faut penser à ne compter que l'énergie mécanique qui a été réellement fournie à l'alternateur, et donc tenir compte de l'énergie mécanique à la sortie du barrage.

5. Le rendement global du système est :

$$r = r_{\text{centrale}} \cdot r_{\text{transport}} \cdot r_{\text{batterie}} = 0,92 \times 0,94 \times 0,90 = 0,78 = 78\%$$

6. L'énergie prélevée dans l'eau du barrage pour recharger la batterie est :

$$E_{\text{fournie}} = \frac{E_{\text{utile}}}{r} = \frac{41,04}{0,78} = 53 \text{ kJ}$$

Ressources complémentaires :

- Un article sur le rendement et les pertes sur le réseau électrique : <https://www.picbleu.fr/page/electricite-rendement-et-pertes-sur-le-reseau>
- Un article de Planète énergies sur le rendement, la puissance et la mesure de l'énergie : <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/l-energie-rendement-puissance-et-mesure>

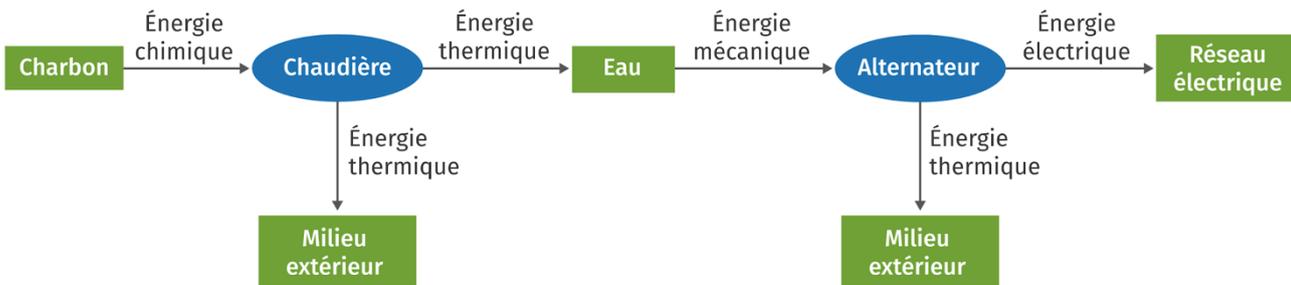
**1. Rendement global.**

Le rendement global des conversions d'énergie de l'uranium à l'eau de la bouilloire est égal au produit des rendements des différents convertisseurs soit :

$$r = 0,30 \times 0,94 \times 0,85 = 0,24 = 24\%$$

**2. Centrales à charbon.**

La chaîne énergétique des conversions et des transferts qui s'effectuent du charbon au réseau électrique est :



**3. Extraction du gaz de schiste.**

a. Une raison économique pour laquelle le gaz de schiste n'était pas très exploité réside dans la complexité de l'extraction et la nécessité des moyens techniques assez coûteux. Une raison écologique est que la technique employée peut entraîner une pollution des nappes phréatiques.

b. Le gaz de schiste commence tout de même à être exploité, car il constitue une source d'énergie fossile. Or, ces sources sont de moins en moins disponibles sur notre planète.

**4. Présenter les deux moyens d'obtention de l'énergie électrique autre que l'alternateur.**

La pile électrochimique et les panneaux photovoltaïques sont les dispositifs permettant d'obtenir de l'énergie électrique. Les piles électrochimiques permettent de convertir l'énergie chimique en énergie électrique. Les panneaux photovoltaïques permettent de convertir l'énergie radiative (ou lumineuse) en énergie électrique.

**4. Les métaux rares, des métaux très utiles**

**Correction :**

1. Ces métaux étaient qualifiés de rares, car ils étaient initialement considérés comme peu abondants. Cependant, en réalité il sont aussi abondants que le cuivre ou le nickel, donc ils ne sont pas si rares que cela.

2. Les minerais dont sont extraits ces métaux sont des mélanges de lanthanides et ont des propriétés physico-chimiques très proches, ce qui rend difficile les procédés de séparation chimique. Cet extraction s'effectue très majoritairement en Chine.

3. Les métaux rares sont utilisés dans les aimants pour leurs propriétés magnétiques ou dans les DEL pour leurs propriétés optiques.

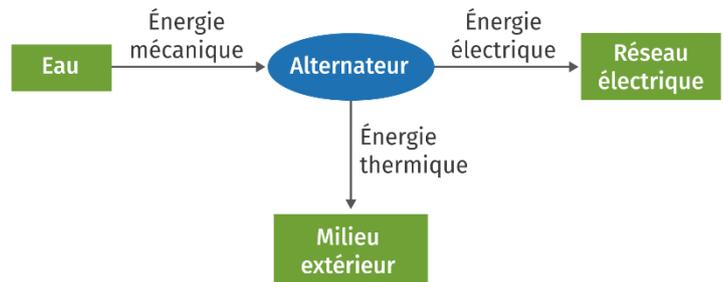
4. Le principal problème de l'exploitation de ces métaux rares, outre les procédés complexes mis en jeu, est la pollution que cela engendre (rejets, d'acides, de bases, de métaux lourds ou de déchets radioactifs).

5. Un comportement à adopter pour réduire la quantité de métaux rares à extraire est le recyclage de ces derniers.

## 5. Usine marémotrice

1. La puissance électrique totale maximale de cette centrale est :  $P_{\max} = 24 \times 10 = 240 \text{ MW}$ .

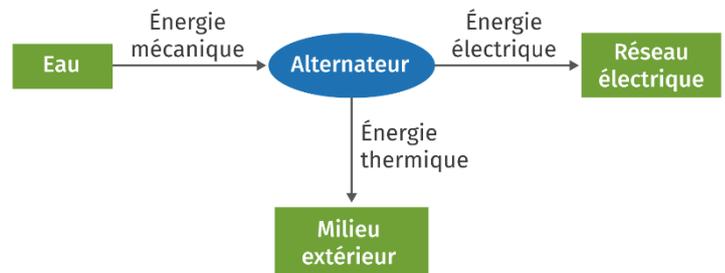
2. Le barrage perd 1% de sa capacité par an du fait de son envasement. Des végétaux peuvent s'emmêler dans les turbines et les ralentir. De plus, la puissance électrique produite dépend de la puissance de la marée. La puissance mécanique fournie à l'alternateur par l'eau peut être moindre et donc entraîner une puissance électrique plus faible.



3. L'avantage de l'utilisation des marées pour produire de l'énergie électrique est qu'il s'agit d'une source d'énergie renouvelable.

4. La chaîne énergétique liée à cette usine est :

5. La construction d'une usine marémotrice peut provoquer des modifications de l'écosystème (hausse de la température de l'eau, pollution du sol à cause des travaux, assèchement lors de la construction). Autre inconvénient, cette forme d'énergie est intermittente.



**Correction de l'exercice décliné en version expert :**

**1. Représenter la chaîne énergétique de l'usine marémotrice.**

La chaîne énergétique liée à cette usine est :

**2. Calculer la puissance maximale de l'installation.**

La puissance maximale de l'installation est :  $P_{\max} = 24 \times 10 = 240 \text{ MW}$ .

**3. La production d'énergie électrique annuelle moyenne de ce site est d'environ 500 GW·h. Calculer la puissance moyenne de l'installation.**

La puissance moyenne de l'installation est :

$$P_{\text{moy}} = \frac{E}{\Delta t} = \frac{500}{365,25 \times 24} = 0,0575 \text{ GW} = 57,5 \text{ MW}$$

**4. Calculer le rendement moyen de l'installation.**

Le rendement moyen de l'installation est :  $r = \frac{P_{\text{moy}}}{P_{\max}} = \frac{57,5}{240} = 0,240 = 24,0 \%$

**5. Lister les avantages et les inconvénients d'une telle solution de production d'électricité.**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>ressource énergétique renouvelable inépuisable</li> <li>peu soumise aux aléas climatiques</li> <li>ne produit pas de gaz à effet de serre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>coût de production de l'usine élevé</li> <li>engendre des nuisances</li> <li>modifie l'écosystème en amont et en aval du barrage</li> <li>production intermittente</li> </ul>

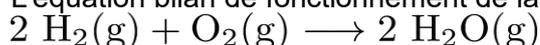
## 6. Pile à combustible

1. Les réactifs dans une pile à combustible sont le dihydrogène  $H_2(g)$  et le dioxygène  $O_2(g)$  issu de l'air. Le seul produit formé est l'eau  $H_2O(l)$ .
2. L'avantage de ce type de pile à combustible est qu'elle ne rejette que de l'eau, donc elle ne pollue pas lors de son utilisation. De plus, elle ne se détériore pas, car l'apport de dihydrogène s'effectue par l'extérieur de la pile avec un apport d'une bouteille pressurisée.

**Suggestion de questions supplémentaires :**

### 3. En déduire l'équation-bilan ajustée de fonctionnement de la pile à combustible.

L'équation bilan de fonctionnement de la pile à combustible est :



### 4. Quels sont les inconvénients d'une pile à combustible ?

Une pile à combustible a tout de même un impact écologique lors de sa fabrication. Mais le dihydrogène doit surtout être synthétisé pour alimenter la pile et cela nécessite plus d'énergie que ce que peut fournir la pile. Il peut aussi être produit par électrolyse de l'eau, mais c'est très énergivore. D'autres inconvénients sont la pollution entraînée lors de la synthèse à partir d'hydrocarbures, avec rejets de gaz à effets de serre, mais aussi le caractère très explosif de ce gaz. De plus, la taille de ces dispositifs reste également un frein à leur utilisation.

## 7. Le nucléaire entre danger et sécurité

1. Les deux principaux intérêts d'une centrale nucléaire sont :
  - la production d'une grande quantité d'énergie électrique ;
  - le dégagement d'une faible quantité de dioxyde de carbone.
2. Les conséquences de l'exposition à des rayonnements radioactifs vont de la brûlure aux cancers. Cela peut atteindre les systèmes nerveux, digestifs, reproductifs, etc.
3. La dose moyenne annuelle d'exposition aux rayonnements d'origine naturelle en France est de 2,4 mSv. Celle occasionnée par les rejets des centrales nucléaires est de  $2 \mu Sv$  (0,002 mSv).
4. Les trois dispositifs de sécurité mis en place dans une centrale nucléaire sont :
  - une enveloppe étanche pour entourer les barres d'uranium ;
  - une enveloppe en acier inoxydable très épais autour du circuit primaire ;
  - une enceinte de confinement constituée d'une ou deux parois en béton armé revêtu d'une peau interne en acier.

## 8. Différents systèmes de stockage

**Compétence principalement travaillée :** Comparer différents dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères

**Correction :**

1. L'intérêt des supercondensateurs pour les bus de ville est de fournir une grande puissance utile sur une courte durée lors des démarrages fréquents par rapport aux batteries lithium-ion. De plus, lors des freinages, ils peuvent convertir une partie de l'énergie cinétique en énergie électromagnétique. Leur rendement, ainsi que leur durée de vie, sont plus importants que ceux des batteries lithium-ion.
2. Les batteries lithium-ion sont intéressantes, car elles sont de petites tailles et ont une grande densité d'énergie.

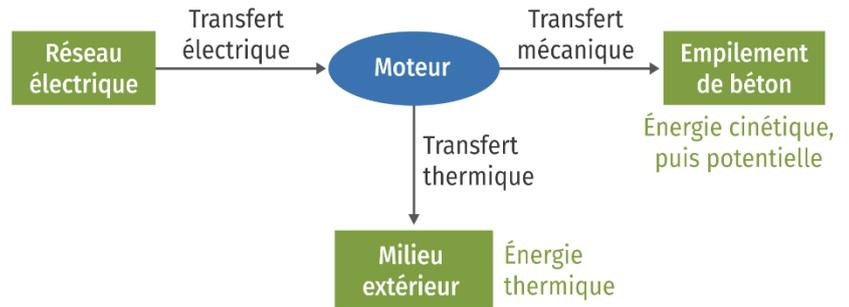
3. L'extraction du lithium pose aussi des problèmes :

- grande consommation d'eau ;
- possibilité de fuites de produits toxiques ;
- diminution des ressources en lithium ;
- conditions de travail ;
- exploitations des enfants ;
- etc.

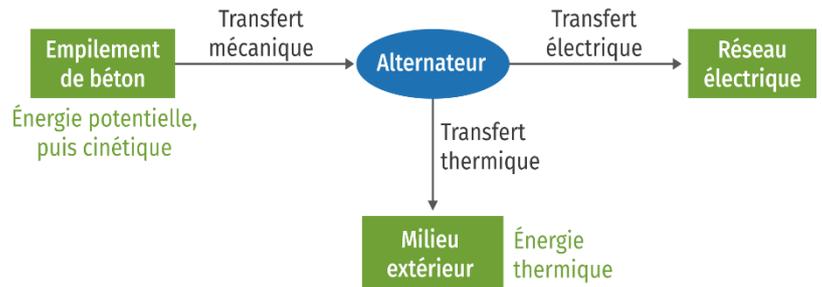
## 9. Des empilements de béton

1. Le réservoir d'énergie est l'empilement de béton. La forme d'énergie stockée est de l'énergie potentielle de pesanteur.

2. La chaîne d'énergie liée au stockage de l'énergie est :



Celle liée au déstockage est :



3. L'énergie stockée dans un bloc de béton placé à 5 m du sol est :

$$E_{pp5} = m \cdot g \cdot h = 35 \times 10^3 \times 9,81 \times 5 = 1,7 \times 10^6 \text{ J} = 1,7 \text{ MJ}$$

L'énergie stockée dans un bloc de béton placé à 100 m du sol est :

$$E_{pp100} = m \cdot g \cdot h = 35 \times 10^3 \times 9,81 \times 100 = 34 \times 10^6 \text{ J} = 34 \text{ MJ}$$

L'énergie stockée dans une batterie est :

$$E_{el} = 2\,500 \times 10^{-3} \times 3,6 = 9,0 \text{ W} \cdot \text{h} \text{ soit } E_{el} = 9,0 \times 3\,600 = 32 \times 10^3 \text{ J} = 32 \text{ kJ}$$

Un empilement de béton situé à 100 m d'altitude permet de stocker l'équivalent en énergie d'environ 1 000 batteries de cette capacité. Un bloc de béton à 5 m d'altitude permet lui de stocker l'équivalent en énergie de ces 50 batteries.

4. L'énergie acquise lors de la descente du bloc est :

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \times 35 \times 10^3 \times 2,9^2 = 1,5 \times 10^5 \text{ J} = 150 \text{ kJ}$$

Un système de production d'électricité plus courant fonctionnant sur le même principe est la STEP (station de transfert d'énergie par pompage).

### Correction de l'exercice décliné en version apprenti :

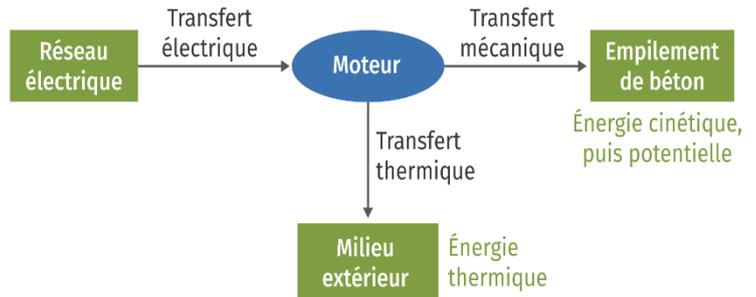
1. Sous quelle forme l'énergie est-elle stockée grâce aux empilements de béton ?

Le bloc de béton permet de stocker de l'énergie sous la forme d'énergie potentielle de pesanteur.

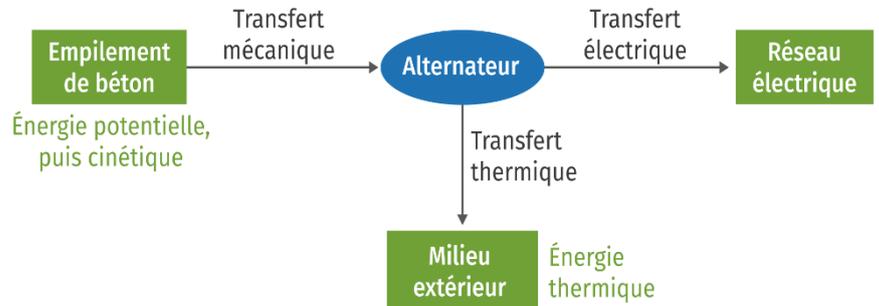
**2. Citer un autre dispositif permettant de stocker cette forme d'énergie.**

Un barrage hydraulique permet aussi de stocker de l'énergie potentielle de pesanteur.

**3. Représenter la chaîne énergétique correspondant au stockage d'énergie.**



**4. Représenter la chaîne énergétique correspondant au déstockage d'énergie.**



**5. Lors de la descente du bloc de béton, l'énergie stockée est convertie en une autre forme d'énergie, laquelle ?**

Lors de la descente, l'énergie potentielle de pesanteur se transforme en énergie cinétique.

**6. Calculer l'énergie stockée par un bloc de béton à 100 m d'altitude.**

L'énergie stockée dans un bloc de béton placé à 100 m du sol est :

$$E_{pp100} = m \cdot g \cdot h = 35 \times 10^3 \times 9,81 \times 100 = 34 \times 10^6 \text{ J} = 34 \text{ MJ}$$

**7. Calculer l'énergie électrique stockée dans la batterie.**

L'énergie stockée dans la batterie est :

$$E_{el} = 2\,500 \times 10^{-3} \times 3,6 = 9,0 \text{ W} \cdot \text{h} \text{ soit } E_{el} = 9,0 \times 3\,600 = 32 \times 10^3 \text{ J} = 32 \text{ kJ}$$

**8. Estimer à combien de batteries équivaut le stockage d'énergie à l'aide d'un bloc de béton.**

Cela équivaut à environ 1 000 batteries de cette capacité.

**9. Lister les avantages et les inconvénients d'un tel dispositif.**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>● mise en place facile</li> <li>● source d'énergie renouvelable</li> <li>● rendement assez élevé</li> <li>● solution peu coûteuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● pollution visuelle et sonore</li> <li>● modification de l'écosystème</li> </ul>

## 10. Condensateur, un réservoir d'énergie électromagnétique

1. La forme d'énergie stockée dans un condensateur est de l'énergie électromagnétique.
2. Lors de la charge du condensateur, les électrons se déplacent de l'anode vers la cathode. Lors de la décharge, les électrons se déplacent dans l'autre sens, soit de la cathode vers l'anode.
3. L'avantage d'un supercondensateur par rapport à un condensateur classique est de pouvoir stocker une plus grande quantité d'énergie.
4. La principale différence de constitution entre un supercondensateur et un condensateur classique est la présence d'un électrolyte qui permet une meilleure absorption des charges sur les électrodes qui sont en plus poreuses.
5. La différence entre un supercondensateur et un accumulateur est la forme d'énergie qui est stockée. Il s'agit d'énergie électromagnétique pour un supercondensateur, mais d'énergie chimique pour un accumulateur. De plus, dans un accumulateur, les électrodes sont consommées lors de la décharge et reconstituées lors de la charge, alors que les électrodes ne sont pas modifiées dans un supercondensateur.

### Correction de l'exercice décliné en version initié :

**1. Nommer sous quelle forme est stockée l'énergie dans un condensateur.**

Un condensateur stocke de l'énergie électromagnétique.

**2. Nommer sous quelle forme est stockée l'énergie dans un accumulateur.**

Un accumulateur stocke de l'énergie chimique.

**3. En déduire la différence fondamentale entre un supercondensateur et un accumulateur.**

La différence fondamentale entre les deux dispositifs est la forme d'énergie stockée.

**4. Identifier la différence entre un condensateur classique et un supercondensateur.**

Un supercondensateur permet de pouvoir stocker une plus grande quantité d'énergie par rapport à un condensateur classique. Le supercondensateur possède un électrolyte qui permet une meilleure absorption des charges sur les électrodes. De plus, celles-ci sont poreuses.

**5. Identifier le sens de déplacement des électrons lors de la charge et de la décharge d'un supercondensateur.**

Lors de la charge du condensateur, les électrons se déplacent de l'anode vers la cathode. Lors de la décharge, les électrons se déplacent dans l'autre sens, soit de la cathode vers l'anode.

**6. Identifier le sens de déplacement des électrons lors de la charge et de la décharge d'un accumulateur.**

Lors de la charge de l'accumulateur, les électrons se déplacent via le circuit électrique de l'électrode en oxyde de plomb vers l'électrode en plomb. Lors de la décharge, les électrons se déplacent dans l'autre sens, soit de l'électrode de plomb vers l'électrode en oxyde de plomb.