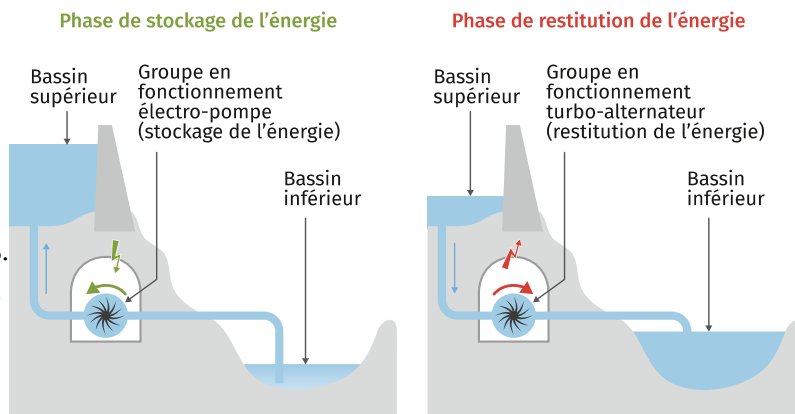


Les sources d'énergie renouvelables et qui ne nécessitent pas de réactions de combustion sont toutes intermittentes : elles ne fonctionnent pas de façon continue et ne peuvent généralement pas être pilotées. L'impossibilité d'adapter la production à la consommation d'énergie électrique nécessite de stocker l'excès de production.

Une STEP est une usine de production d'énergie hydraulique capable de stocker de l'énergie sous forme d'énergie potentielle (énergie liée à la hauteur) : lorsque la demande en électricité est faible (la nuit par ex.) et en cas d'excès d'énergie dans le réseau, des masses d'eau sont remontées par une pompe dans un bassin supérieur.

C'est donc une installation réversible de production et de stockage de l'énergie. Les performances sont intéressantes puisque son rendement de restitution varie de 65 % à 80 %. Les STEP peuvent stocker de 1 à 100 GWh. La durée moyenne d'une STEP est 40 ans. Cette technologie de stockage est encore la plus utilisée dans le monde.



DOC. 1: LES STATIONS DE TRANSFERT D'ÉNERGIE PAR POMPAGE (STEP)

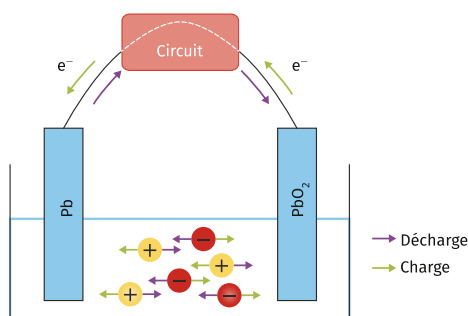
L'appellation *batteries* de la vie courante correspond en réalité à des accumulateurs.

Un accumulateur fonctionne de la même manière qu'une pile lors de sa décharge (lorsqu'il produit de l'électricité) : des réactions chimiques d'oxydoréduction produisent un courant électrique. Mais lors de la

charge, sous l'action d'un courant électrique, la transformation chimique s'inverse : les produits formés lors de la décharge reforment alors les réactifs de départ. L'accumulateur est à nouveau chargé et l'énergie électrique est stockée sous forme chimique. Le nombre de cycles de charges-décharges est cependant limité dans le temps : il peut atteindre 500 à 4000.

Les accumulateurs sont essentiellement utilisés pour les appareils mobiles (téléphone portable, appareil photo, calculatrice, voiture ...). Les batteries courantes actuelles ont des capacités très variables (quelques Wh pour un téléphone, 100 kWh pour une voiture) et peuvent stocker l'énergie pendant quelques mois. Une voiture peut fournir une puissance suffisante pour vider sa batterie en 2h.

Les BESS (battery energy storage system), sont des centrales électriques de stockage par accumulateur. Les dernières installées (2025) ont des capacités de quelques GWh et peuvent délivrer une puissance de quelques centaines de MW.



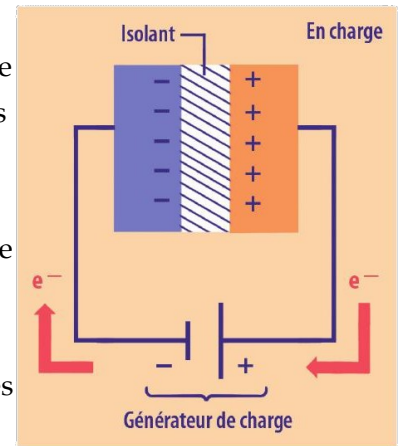
La capacité d'une batterie est souvent exprimée en mAh. On peut retrouver cette capacité en Wh en se rappelant que la puissance électrique (en W) est égale au produit la tension (en V) par le courant (en A).



DOC. 2: PHOTO DE L'ACCUMULATEUR DU FAIRPHONE

DOC. 3: STOCKAGE À L'AIDE D'UN ACCUMULATEUR

Un super condensateur est constitué de deux cylindres métalliques séparés par un isolant. Cette technologie repose sur un dispositif dans lequel l'énergie est stockée sous forme de charges électriques accumulées sur deux électrodes au cours de la charge. À la décharge, les deux électrodes redeviendront neutres par une circulation d'électrons (courant électrique) dans un circuit extérieur. Le principal avantage des supercondensateurs est leur puissance de charge et de décharge (de 10 kW à 5 MW), nettement supérieure à celle des batteries, mais ils peuvent stocker une plus faible quantité d'énergie. Cette propriété est notamment intéressante dans des véhicules tels que les bus de ville qui s'arrêtent et redémarrent souvent.



Contrairement aux batteries, qui utilisent des réactions chimiques pour stocker l'énergie, les supercondensateurs conservent l'énergie grâce à la séparation des charges électriques sur leurs électrodes. Cela leur permet d'être rechargés et déchargés très rapidement sans dégradation significative.

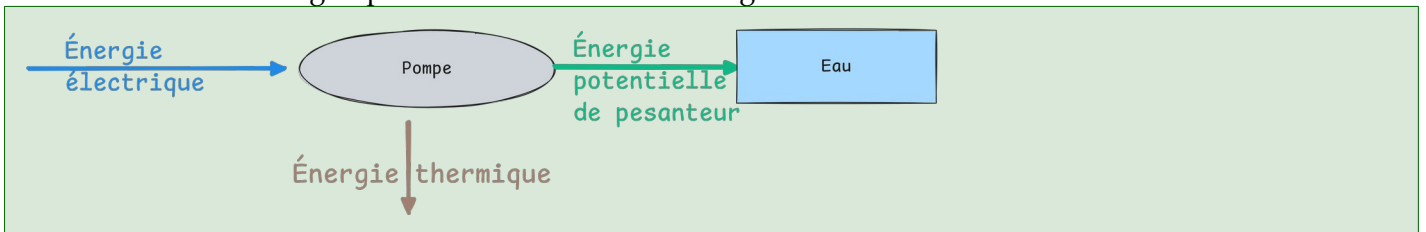
DOC. 4: LES SUPERCONDENSATEURS

## Questions

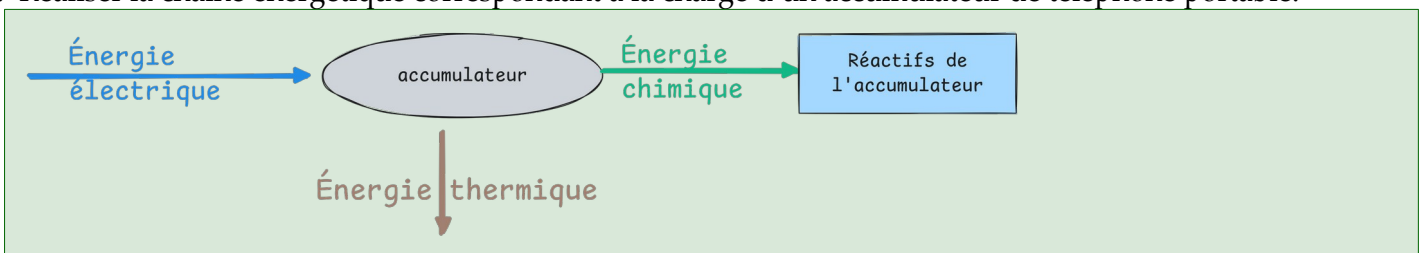
1. Sous quelles formes d'énergie est stockée l'électricité dans chacun des trois systèmes décrits ?

STEP : énergie potentielle de pesanteur  
 Accumulateur : énergie chimique  
 Supercondensateur : énergie potentielle électrostatique

2. Réaliser la chaîne énergétique de la STEP lors du stockage de l'électricité.



3. Réaliser la chaîne énergétique correspondant à la charge d'un accumulateur de téléphone portable.



4. [SPÉ] Déterminer la capacité de la batterie du smartphone en Wh.

$$E = C \text{ (Ah)} \times U \text{ (V)} = 2,420 \times 3,8 = 9,2 \text{ Wh}$$

5. Compléter le tableau ci-dessous à l'aide des documents :

Technologie	Puissance de restitution	Capacité énergétique	Autonomie	Rendement	Durée de vie	Coût(euros par kWh)
STEP	0,1 à 1 GW	100 GW h	Quelques jours	65 à 80 %	40 ans	75 – 150
Supercondensateur	10 kW à 5	1 à 5 kWh	Quelques minutes	90 à 95 %	De 10 000 à 500 000	16 000

	MW					cycles
Accumulateur	50 kW	100 kWh	2 h	70 à 80 %	max 4000 cycles	50 – 1 000
BESS	100 MW	2 GWh	Quelques heures	70 à 80 %	max 4000 cycles	50 – 1 000

6. Rappeler les valeurs, en puissance de 10, des multiples « Kilo », « Méga », « Giga » et « Téra ».

kilo :  $10^3$   
méga :  $10^6$   
giga :  $10^9$   
tétra :  $10^{12}$

7. Choisir, en proposant des arguments, la technologie la plus adaptée pour stocker :

- le surplus quotidien d'énergie d'un réseau électrique de 54 MWh ;
- l'énergie nécessaire à l'autonomie d'un appareil photo soit 7,7 Wh ;
- l'énergie dissipée lors du freinage d'autobus soit 1,1 kWh utilisée comme appoint pour un démarrage ultérieur.

- Seule la STEP a vraiment la capacité pour le faire. Les gigantesques accumulateurs ont une puissance max de 10MW. Il leur faudrait 10 h à pleine puissance pour se charger à 100 %, ce qui est trop long.
- L'accumulateur est idéal (capacité et puissance). Le supercondensateur ne garderait pas l'énergie plusieurs jours.
- Supercondensateur : le temps pour garder la charge peut être très faible. En revanche les puissances absorbées et restituées doivent être très élevées.

8. La capacité (c'est-à-dire l'énergie stockée) des accumulateurs des derniers smartphones atteint 36 000 J en moyenne.

- Montrer que  $1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J}$  puis convertir la capacité du smartphone en wattheure.

$1 \text{ Wh} = \text{l'énergie échangée avec une puissance de } 1 \text{ W pendant } 1 \text{ h.}$

$E(\text{J}) = P(\text{W}) \times t(\text{s}), \text{ donc } E = 1 \times 3600 = 3\,600 \text{ Wh}$

- Avec l'hypothèse qu'une recharge quotidienne est nécessaire pour activer les multiples applications, montrer que le coût annuel des multiples recharges pour une famille de 4 personnes possédant chacun un portable est de moins de 4 €.

*Donnée* : en France le coût moyen du kilowattheure est de 0,2516 € en 2024.

Énergie consommée par jour :  $36\,000 \text{ J} : 3\,600 = 10 \text{ Wh}$

Énergie consommée par an :  $10 \times 365,25 = 3\,652,5 \text{ Wh}$

Coût annuel :  $3,6525 \times 0,2516 = 0,92 \text{ € par téléphone.}$

Attention cette faible consommation à l'usage en masque une autre. On estime à 300 kWh l'énergie nécessaire pour obtenir un smartphone (fabrication, transport, publicité...). Soit l'équivalent de plus de 80 ans d'utilisation.