

1. Pourquoi stocker de l'énergie ?

Le stockage de l'énergie est utilisé pour répondre à trois besoins principaux :

- Le besoin de se déplacer avec sa propre source d'énergie, c'est le besoin d'autonomie.
- Le besoin de compenser le décalage temporel entre la demande en énergie et la possibilité de production.
- Le besoin de compenser les fluctuations d'intensité du courant délivré sur le réseau électrique, par exemple dans le cas des éoliennes.



2. Le stockage électrochimique d'énergie électrique

L'électricité ne peut pas être stockée directement. Il est donc indispensable de convertir l'énergie sous d'autres formes afin de la stocker.

L'utilisation de batteries permet de stocker l'énergie électrique sous forme électrochimique.

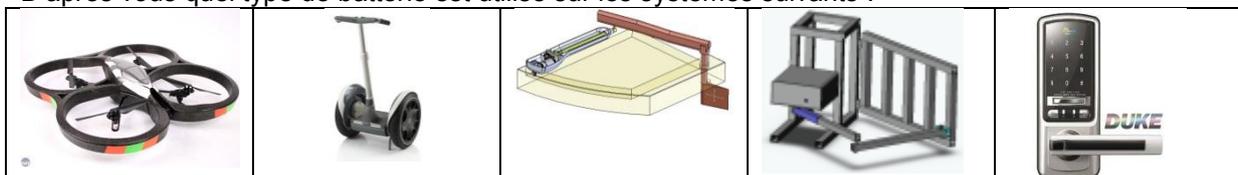
Les 3 grandeurs principales qui caractérisent les batteries sont :

- **La tension** ou différence de potentiel aux bornes de la batterie. Elle s'exprime en volts (V).
- **La capacité** de la batterie représente la quantité de charges électriques qu'elle peut stocker. Elle s'exprime en Coulombs (C) ou en Ampère-heure (Ah). $1\text{Ah} = 3600\text{C}$. La capacité est souvent rapportée à la masse (capacité massique) ou au volume (capacité volumique).
- **La densité énergétique** de la batterie est la quantité d'énergie stockée par unité de masse ou de volume. Elle s'exprime en Wh/kg ou en Wh/L.

Comparaison des différentes technologies utilisées dans les batteries.

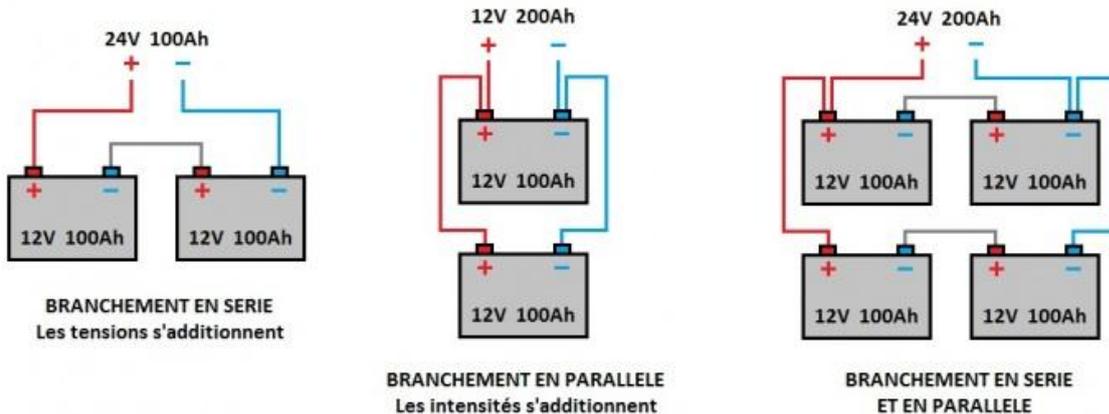
Type de batterie	Densité (Wh/kg)	Plage de puissance	Rendement	Utilisations
Plomb	50	100W à 10MW	70 à 85%	Véhicules routiers, véhicules électriques, site isolé non raccordé au réseau.
NiCd Nickel-Cadmium	50	Quelques Watts	70 à 80%	Outillage portatif, rasoirs électriques
NiMH Nickel Métal Hydrure	75	Quelques Watts	70 à 80%	Téléphones portables, appareils photo, rasoirs électriques
Li-ion Lithium-ion	300	100W à 10MW	85 à 90%	Téléphones portables, véhicules électriques, appareils photo, ordinateurs portables
Li-Pol Lithium-Polymère	120	100W à 10MW	85 à 90%	Véhicules électriques légers, téléphones portables
Na-S Sodium-Soufre	100 à 120	50kW à 10MW	85 à 90%	Stockage d'énergie intégré à un système de production d'électricité

D'après vous quel type de batterie est utilisé sur les systèmes suivants :



Capacité d'une association de batteries

La capacité représente la quantité de charges électriques stockées dans la batterie, mais pas la quantité d'énergie. Pour connaître cette quantité d'énergie (qui s'exprime en Watt-heure (Wh)), il faut multiplier la capacité par la tension de la batterie : $Ah \times V = Wh$. Il est important de ne pas confondre quantité de courant et quantité d'énergie. Par exemple, si on branche deux batteries 12V 100Ah en série on obtient l'équivalent d'une batterie de ... 100Ah, alors que la quantité d'énergie a doublé.



Synthèse

<p>La capacité Q (ou quantité d'électricité) est le produit de l'intensité I du courant (en ampère) par le temps t.</p> <p>Si t est en secondes, Q est en Coulombs (C) Si t est en heures, Q est en ampère-heure (Ah) 1 Ah = 3600 C</p>	$Q = I \times t$
<p>La puissance consommée P (en W) est égale au produit de la tension U (en V) de la batterie par le courant I (en A) qu'elle délivre</p>	$P = U \times I$
<p>L'énergie E est égale au produit de la puissance P (en W) absorbée par le temps de fonctionnement t.</p> <p>Si t est en secondes, E est en Joules (J) Si t est en heures, E est en Watt-heure (Wh) E est égale au produit de la tension U (en V) et de la capacité Q</p>	$E = P \cdot t$ $E = U \times Q$

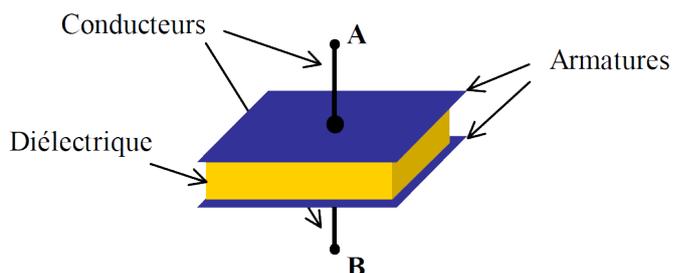
3. Le stockage électrostatique d'énergie électrique

L'utilisation de condensateurs ou de supercondensateurs permettent de stocker l'énergie électrique sous forme électrostatique.

La capacité électrique d'un condensateur ou d'un supercondensateur est déterminée essentiellement par la géométrie des armatures et la nature du, ou des, isolant(s). La formule simplifiée suivante est souvent utilisée :

$$C = (\epsilon \cdot S) / e$$

avec : C : capacité en farads (F)
S : surface des armatures (m²)
 ϵ : permittivité du diélectrique (F/m)
e : distance entre les armatures (m)



	Batterie	Supercondensateur
Densité de puissance (W/kg)	150 – 1000	1000 – 5000
Densité d'énergie (Wh/kg)	50 - 1500	4 - 6

Le tableau ci-dessus permet de remarquer la supériorité des supercondensateurs en ce qui concerne la densité de puissance. Le point faible des supercondensateurs est leur densité d'énergie très mauvaise, ce qui signifie qu'ils ne peuvent stocker cette puissance que peu de temps (quelques secondes maximum). De ce fait, leur utilisation est limitée à des applications particulières, telles que le démarrage de locomotives, le contrôle de l'orientation des pales d'une éolienne ou l'amélioration de la qualité des courants transportés sur les réseaux électriques.

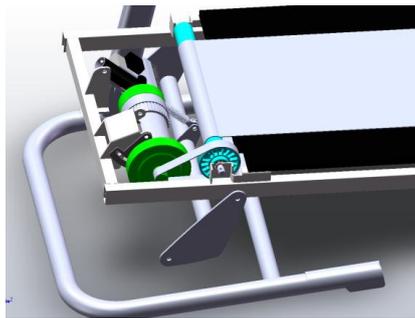
4. Le stockage cinétique de l'énergie

Les **volants d'inertie** stockent l'énergie sous forme cinétique. Ils sont constitués d'une masse en rotation autour d'un axe.

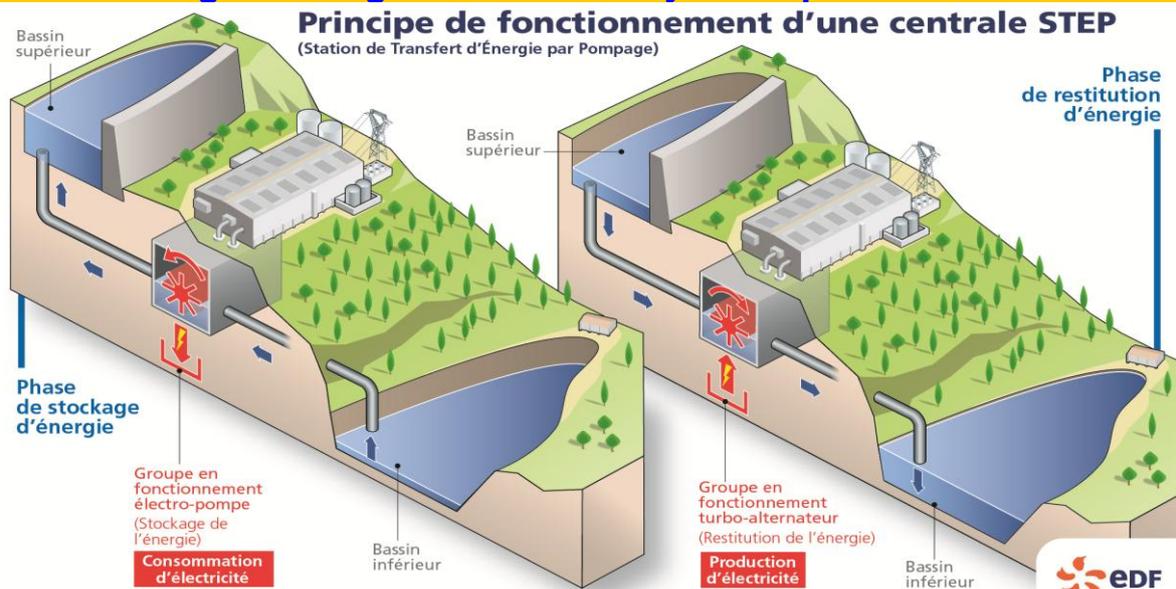
Les volants d'inertie sont des dispositifs qui se chargent et se déchargent sur quelques secondes à une minute. Ils sont donc réservés à des applications où les cycles de stockage sont de courte durée.

Tapis de course :

D'après vous qu'est ce qui justifie l'utilisation d'un volant d'inertie sur le tapis de course ?



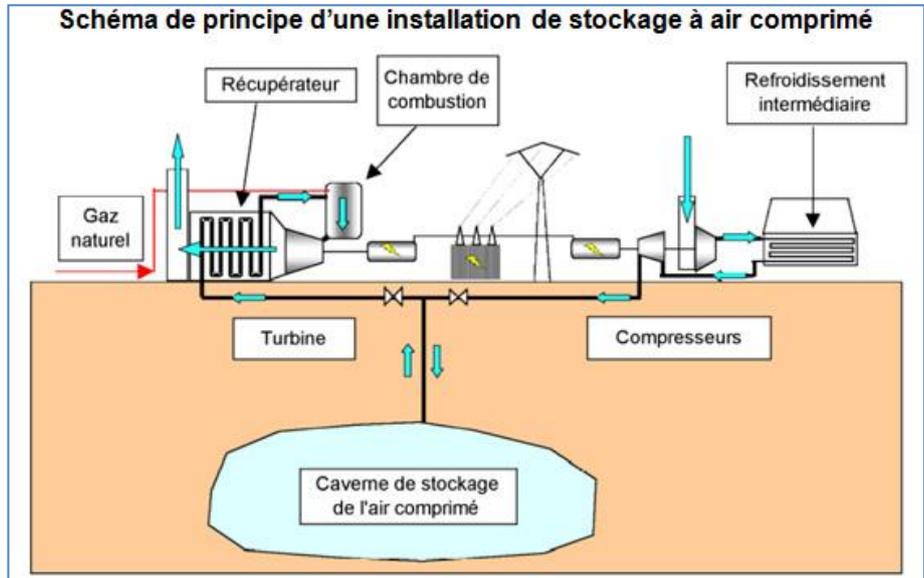
5. Le stockage d'énergie sous forme hydraulique



6. Le stockage d'énergie sous forme d'air comprimé

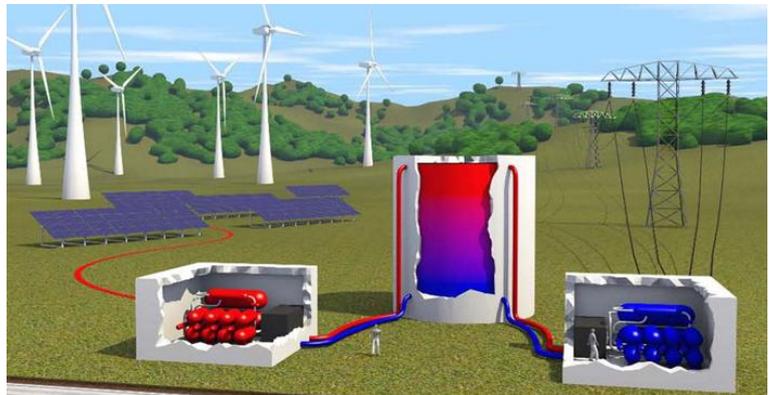
CAES (Compress Air Energy Storage)

L'air comprimé peut être utilisé pour produire un travail mécanique. Quand il y a une forte demande d'électricité, on utilise l'air qui a été précédemment comprimé et stocké pour mettre en mouvement une turbine qui grâce à un alternateur produit de l'électricité. Un des avantages de la solution est de ne générer que peu de risques (pas ou peu de produits toxiques, métaux rares, etc.) et de n'avoir aucune contrainte géographique (solution décentralisée) ni d'échelle dès lors qu'une source d'électricité est disponible.



7. Le stockage d'énergie sous forme de chaleur

Lorsque l'énergie électrique est produite par des sources intermittentes (éoliennes, panneaux solaires), l'énergie peut être stockée sous forme de chaleur pour être distribuée sur le réseau au moment des pics de demande.



8. Le stockage d'énergie sous forme d'hydrogène

Le stockage d'hydrogène sous forme solide (hydrures métalliques) améliore radicalement la sécurité liée au stockage de l'hydrogène

Avantages du stockage d'hydrogène solide :

- Réduction drastique des risques par rapport à des solutions haute pression ou cryogénique
- Un système complètement réversible (stockage/déstockage)
- Sans effet mémoire, déchargeable à 100 % où puissance et énergie sont découplées
- Souple d'utilisation (absorbe les variations de production d'hydrogène de l'électrolyseur, idéal lorsqu'il s'agit de stockage d'énergie renouvelable intermittente) et réactif

