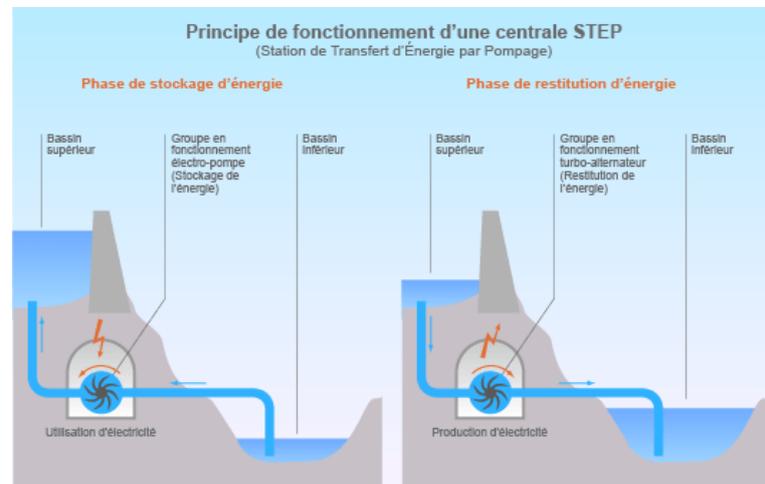


## Energie stockage

[http://www.lycee-ferry-versailles.fr/si-new/synthese/cours/6\\_4\\_stockage\\_formules\\_v2.pdf](http://www.lycee-ferry-versailles.fr/si-new/synthese/cours/6_4_stockage_formules_v2.pdf)

... **stockage d'énergie potentielle** « une masse en altitude : eau d'un barrage ; masses d'une horloge »

**STEP** stations de transfert d'énergie par pompage



L'eau remonte de bas en haut lorsque l'on dispose d'énergie en surplus ( solaire à midi )  
la règle est ( hors pertes .... et il y en a !! )

$$E_{\text{stockée}} = mgh$$

m masse remontée en kg

g constante de gravité terrestre = 9,81 N/kg ou m/s<sup>2</sup>

h hauteur de remontée ( dénivelé ) en m

Pour illustrer votre téléphone portable contenant une batterie Li-ion ( lithium ion ) se recharge sous 3,7 V ( volt ) et contient 2000 mAh ( milliampère heure ) ou « capable de fournir 2000 mA pendant 1 heure ou 1000 mA pendant 2 heures ou 100 mA pendant 20 heures »

... ce qui fait que votre téléphone ( sa batterie ) contient  $2 \text{ Ah} * 3,7 \text{ V} = 2 \text{ A} * 3600 \text{ s} * 3,7 \text{ V} = 26640 \text{ J}$  ( joules )

il faut convertir  $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$  pour trouver des joules sinon ce sont des Wh (wattheure )

...il reste que cela correspond avec la formule  $mgh$  m = 20 kg ; g = 9,81 ; h = 20 m

$$20 * 9,81 * 20 = 3924 \text{ pas assez}$$

$$20 * 9,81 * 100 = 19620 \text{ encore faible}$$

$$20 * 9,81 * 150 = 29430 \text{ trop !}$$

**Le tout hors pertes** donc il faudra faire beaucoup plus ( le double peut-être c'est à dire au lieu de remonter 20 kg d'eau de 150 m il faudra remonter **40 kg de 150 m** ou **20 kg de 300 m** tout ça pour juste recharger mon portable

## ... stockage de gaz comprimé

Le stockage souterrain d'air comprimé (CAES) **Compressed Air Energy Storage** fait partie des solutions de stockage stationnaire de l'énergie électrique à très grande échelle. **des deux seules installations existantes dans le monde, à Huntorf en Allemagne, et à McIntosh, aux Etats-Unis (Alabama)**

Ce type de stockage consiste à utiliser l'électricité excédentaire produite en heures creuses pour comprimer de l'air à très haute pression et le stocker dans un réservoir.

Pendant les heures de pointe, l'énergie potentielle stockée est libérée en détendant cet air comprimé dans une turbine qui entraîne un alternateur pour produire de l'électricité.

<https://www.youtube.com/watch?v=ECXJ5rTni74>

Résultat :

$E \text{ ou } W = p_0 V_0 \ln V_0/V$   $V_0/V$  taux de compression ;  $\ln$  : logarithme népérien  
donne pour un volume de 1 m<sup>3</sup> comprimé 10 fois soit ramené à 0,1 m<sup>3</sup> ou 100 L ( litre )

$E = 100000 \text{ Pa ( pascal )} * 1 \text{ m}^3 * \ln 10 = 100000 * 1 * 2,302 = 230000 \text{ J}$  de quoi charger 10 batteries de téléphone portable !!!

le pascal : unité de pression (  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$  ) « une masse de 0,1 kg posée sur un  $\text{m}^2$  !! »  
là aussi la compression souffre d'un rendement moindre ( 0,5 peut-être ) donc ....

### ... stockage d'énergie dans un ressort

Thibaut Deveraux <https://fr.quora.com/Pourquoi-le-stockage-de-l%C3%A9nergie-dans-des-ressorts-nest-il-pas-explor%C3%A9-%C3%A0-l'exception-notable-de-l'horlogerie-et-dun-v%C3%A9hicule-imagin%C3%A9-par-Vinci-le-vrai-pas-le-b%C3%A9tonneur>

Le stockage de l'énergie mécanique dans les ressorts est très intéressante et toujours largement utilisée aujourd'hui.

Le stockage de l'énergie électrique impose certaines contraintes :

Le ressort ne stocke que de l'énergie mécanique. Du mouvement potentiel. Il faut donc la convertir en énergie électrique en entrée et en sortie ce qui implique un actionneur. Par exemple un moteur électrique sur l'arbre d'un ressort spiral qui le tende et qui fasse dynamo au retour. Ces intermédiaires imposent des coûts, de l'encombrement et une perte de rendement. Jusque là rien de neuf par rapport aux batteries.

E ou W ( l'énergie mécanique se note W normalement W pour work ) « l'énergie mécanique s'appelle aussi travail d'ou le W »

et  $W = 1/2 kx^2$  k constante de compression en N/m c'est à dire « combien de N ( newton ) faut-il appliquer à ce ressort pour le comprimer de 1 m ( mètre ) ? »

appliquons  $k = 10\ 000 \text{ N / m}$  soit un ressort qui supporte 10000 N soit ~1000kg en se comprimant de 1 m il contient alors  $W = 1/2 * 10000 * 1^2 = 5000 \text{ J ( joule )}$  ressort comprimé de 1 m !!

$W = 1/2 * 10000 * 5^2 = 125000 \text{ J ( joule )}$  ressort comprimé de 5 m !! de quoi charger 5 batteries

### ... stockage dans un volant d'inertie

Revterra réinvente le stockage d'énergie par volant d'inertie à haut rendement

Le stockage d'énergie par volant d'inertie n'est pas une idée récente. C'est même la plus ancienne méthode connue, encore exploitée aujourd'hui. Mais face aux STEP, à l'essor des batteries et récemment de l'hydrogène, cette solution est rarement utilisée. Si elle présente l'avantage d'un haut rendement et d'une longue durée de vie, le temps de stockage limité ne plaide pas en sa faveur. Mais la société texane Revterra annonce la mise au point d'une nouvelle technique plus performante dont le coût serait deux fois plus avantageux que celui des batteries lithium-ion.

Energie cinétique contenue dans un volant d'inertie

$W_{\text{rot}} = 1/2 J\omega^2$  J le moment d'inertie ( comparable à la masse en translation )

$\omega$  vitesse angulaire de rotation =  $2 * \pi * f$   $\pi = 3,14$

f ( Hz ) fréquence en tours / seconde

$J_{\text{cyl}} = 1/2 Mr^2$  M masse en kg supposons 100 kg

r rayon du cylindre en m supposons  $r = 0,5 \text{ m}$  ce qui fait au final un cylindre de 1 m de diamètre

$$J_{\text{cyl}} = 1/2 * 100 * 0,5^2 = 12,5 \text{ kg m}^2$$

et  $W_{\text{rot}} = 1/2 * 12,5 * (3,14 * 10)^2 = 6162,25 \text{ J}$  s'il tourne à 10 Hz ( tours / seconde )

$1/2 * 12,5 * (3,14 * 20)^2 = 24649 \text{ J}$  de quoi charger mon portable !!

### ... stockage par électrolyse de l'eau et obtention d'hydrogène

Le rendement énergétique de l'électrolyse de l'eau peut varier de manière importante. La gamme de rendement varie de 50-70 % à 80-92 % selon les sources. The Shift Project ( JMJ et consorts ) retient ainsi la fourchette de 60-75 %

1 m<sup>2</sup> de cellules fournira

0,333 kWh/jour hiver = 0,333\*3 600 000 J = 1 198 800 J \* 0,7 = 839160 J de quoi charger **31,5 portables**

0,941 kWh/jour été = 0,941\*3 600 000 = 3 387 600 J \* 0,7 = 2 371 320 J **de quoi charger 89 portables**

### ... la source : le soleil

à côté de cela 1 m<sup>2</sup> de cellules exposé au soleil produit en France 230 kWh par an

**soit 0,63 kWh / jour** ( 1,5 fois plus en été ; 2 fois moins en hiver ! ) ... donc de 0,333 kWh/jour hiver  
... donc de 0,941 kWh/jour été

1 kWh = 3 600 000 J donc de quoi charger 3 600 000 / 26 640 = 135,13 donc 135 batteries de portable ( citées plus haut ! )

et en hiver 1m<sup>2</sup> de cellules chargera ~ 135 / 3 soit 45 batteries  
et en été ~130 batteries

donc les chiffres du haut sont à multiplier en conséquence

### ... stockage d'énergie potentielle

Le tout hors pertes donc il faudra faire beaucoup plus ( le double peut-etre c'est a dire au lieu de remonter 20 kg d'esu de 150 m il faudra remonter 40 kg de 150 m ou 20 kg de 300 m tout ca pour juste recharger mon portable

remonter alors 40kg \* 135 soit **5400 kg d'eau de 150 m**

### ... stockage de gaz comprimé

$E = 100000 \text{ Pa ( pascal )} * 1 \text{ m}^3 * \ln 10 = 100000 * 1 * 2,302 = 230000 \text{ J}$  de quoi charger 10 batteries

donc \* 13,5 et alors **comprimer 13,5 m<sup>3</sup>** ou augmenter le pression

attention passer à 100 bars ne double que l'énergie  **$\ln 10 = 2,3$  ;  $\ln 100 = 4,6$  !!!**

### ... stockage d'énergie dans un ressort

$W = 1/2 * 10000 * 25 = 125000 \text{ J ( joule )}$  ressort comprimé de 5 m !! **de quoi charger 5 batteries**

et là il faut **mettre ensemble 135/5 = 27 ressorts identiques**

### ... stockage dans un volant d'inertie

et  $W_{\text{rot}} = 1/2 * 12,5 * (3,14*10)^2 = 6162,25 \text{ J}$  s'il tourne à 10 Hz ( tours / seconde )

$1/2 * 12,5 * (3,14*20)^2 = 24649 \text{ J}$  **de quoi charger mon portable !!**

il faudra le faire tourner ( le volant  **$\sqrt{135}$  fois plus vite** ) soit 11,61 fois donc 116,1 Hz

ou une masse 135 fois plus lourde **soit 100\*135 = 13500 kg**