

Rappel sur les sources d'énergie

Les énergies non renouvelables

L'énergie nucléaire

Elle est produite à partir d'un minéral appelé uranium. **La fission des atomes d'uranium** libère une très grande quantité d'énergie dont on se sert pour chauffer de l'eau permettant de produire de l'électricité.

Les énergies fossiles

Le charbon, le pétrole et le gaz naturel proviennent de la décomposition de végétaux et d'organismes vivants qui ont été enfouis sous la terre. Les ressources diminuent quand on les utilise car il leur faut des millions d'années pour se former.

Les énergies renouvelables

L'énergie solaire

L'énergie lumineuse du soleil est recueillie grâce à des capteurs sur des panneaux solaires et est convertie en énergie électrique (solaire photovoltaïque) ou thermique (solaire thermique, comme pour les chauffe-eaux solaires).

L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire : les rayons solaires absorbés dans l'atmosphère entraînent des différences de température et de pression. De ce fait les masses d'air se mettent en mouvement.

L'hydroélectricité

Les centrales hydrauliques convertissent l'énergie des cours d'eau, des chutes d'eau et même des marées ou de la houle et constituent une source d'énergie inépuisable. En revanche, les conséquences sur le milieu aquatique ou l'environnement en général peuvent être importantes, notamment si la construction d'un barrage conduit à l'inondation de terres sur grande superficie (ex : barrage des Trois Gorges, en Chine. Barrage de Sivens, en France).

L'énergie géothermale

Le principe est d'exploiter le flux géothermique naturel à la surface du globe (exploiter les différences de température entre différents milieux).

La biomasse

L'énergie de la biomasse est produite par combustion directe de matière biologique comme le bois ou par conversion en biocarburants. Même si la combustion produit des gaz à effet de serre, la biomasse reste une énergie renouvelable.

Formes de stockage de l'énergie

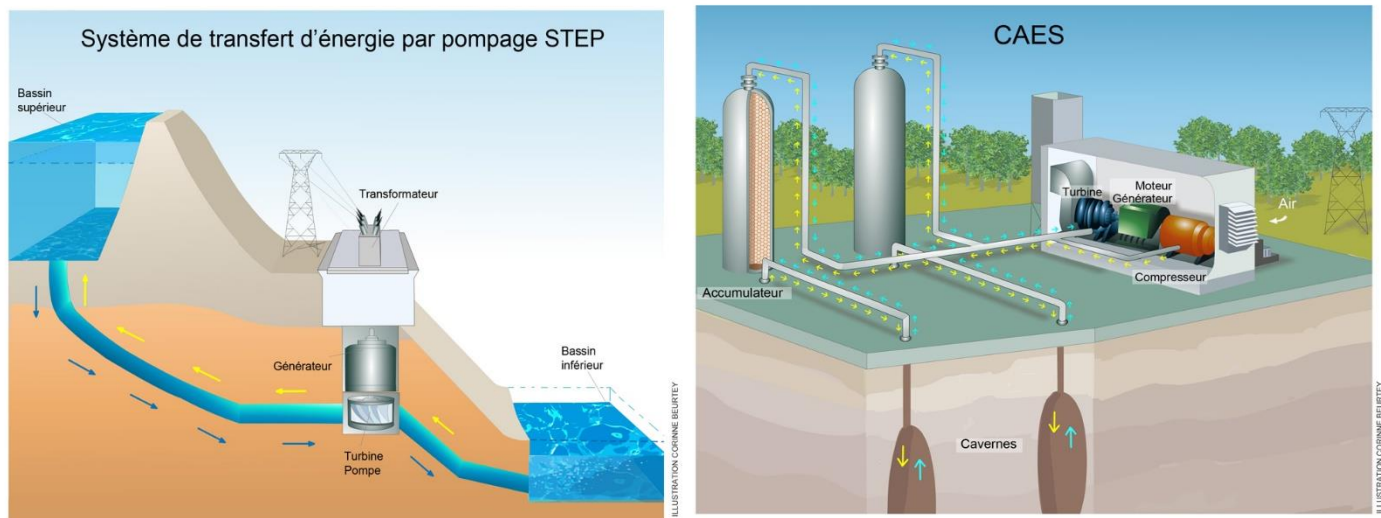
Stockage hydraulique

Station de transfert d'énergie par pompage (STEP) : Ce système de stockage repose sur le principe de l'énergie gravitaire. Il représente près de 99 % des capacités de stockage massif d'énergie installées dans le monde, avec près de 400 STEP pour une capacité totale d'environ 125 GW.

L'électricité sert à pomper de l'eau d'un bassin inférieur vers un bassin supérieur. L'électricité est stockée sous forme de retenue d'eau et reproduite au besoin en laissant l'eau redescendre par gravité du bassin supérieur au bassin inférieur en passant à travers une turbine.

Stockage d'air comprimé

Stockage par air comprimé (CAES) : L'électricité alimente un compresseur qui va comprimer de l'air ensuite stockée dans des cavernes souterraines. L'air circule ensuite des cavernes vers une turbine pour produire de nouveau de l'électricité.



Stockage d'hydrogène

L'électricité va permettre de produire, via un électrolyseur, de l'hydrogène. Le gaz est ensuite stocké soit sous forme liquide, solide ou gazeuse avant d'être consommé dans une pile à combustible. Re combiné à l'oxygène il va ainsi produire de l'eau et de l'électricité.

Stockage inertiel

L'électricité fait tourner à très grande vitesse une masse autour d'un axe cylindrique dans un caisson isolé. L'énergie cinétique entraînée par la rotation du cylindre peut ainsi être conservée. Cette énergie est ensuite récupérée sous forme d'électricité grâce à un alternateur (principe de la dynamo).

Stockage thermique

Le stockage par chaleur sensible : Il consiste à chauffer un fluide caloporteur ou un solide. La chaleur est ensuite récupérée en chauffant un autre fluide. C'est le principe du ballon d'eau chaude, couplé à un panneau solaire thermique. C'est aussi tout simplement le cas d'une pierre posée près d'une cheminée. Une fois qu'elle a emmagasiné la chaleur, elle peut être déplacée et céder sa chaleur.

Le stockage de chaleur par changement de phase : Grâce à l'utilisation de matériaux dont la chaleur va entraîner le passage d'un état solide à un état liquide. C'est le cas, par exemple, de la paraffine dont la température de fusion est proche des 70°C. Elle restitue cette chaleur lorsqu'elle repasse à l'état solide.

Le stockage de chaleur par réaction chimique : Il consiste en l'utilisation d'une réaction chimique réversible qui a besoin d'un apport de chaleur dans un sens (endothermique) et dégage de la chaleur dans le sens opposé (exothermique). Parmi les réactifs envisagés, la chaux. La chaleur apportée permet de l'assécher (c'est-à-dire retirer l'eau du mélange). La chaux sèche est ensuite conservée à l'abri de l'humidité. Lorsqu'elle est réhumidifiée, se produit alors un dégagement de chaleur qui peut être utilisé notamment dans l'habitat. La stabilité de ce système peut permettre un stockage saisonnier.

Stockage par batterie

On appelle batterie un ensemble d'accumulateur. Le stockage d'électricité s'effectue grâce à des réactions électrochimiques qui consistent à faire circuler des ions et des électrons entre deux électrodes. Les composants chimiques peuvent être différents d'une technologie à une autre, créant ainsi une grande variété de batteries.

Stockage par condensateur

Le condensateur est un composant électronique élémentaire, constitué de deux armatures conductrices (appelées « électrodes ») en influence totale et séparées par un isolant polarisable (ou « diélectrique »). Sa propriété principale est de pouvoir stocker des charges électriques opposées sur ses armatures.

Le stockage par condensateur est utilisé principalement en électronique, c'est-à-dire en basse tension et en faible énergie, dans les alimentations à tension continue (redressement). Accessoirement, le stockage par condensateur peut être utilisé comme source de puissance impulsionnelle. Sa limitation est la durée de vie réduite des condensateurs, qui supportent mal un trop grand nombre de cycles de charge/décharge.

Stockage par super condensateur

Apparu vers 2000, le super condensateur de puissance est un composant électrotechnique dédié au stockage de puissance plutôt qu'à celui d'énergie. Il se présente sous la forme d'une cellule élémentaire (ressemblant physiquement à un condensateur électrolytique). Cela permet d'obtenir des puissances massiques élevées (de l'ordre de 10 kW/kg) et supportant de 500 000 à 1 million de cycles de charge/décharge.

Les cellules élémentaires des super condensateurs peuvent fournir ou absorber des puissances unitaires très élevées avec une constante de temps de quelques dizaines de secondes.

Les condensateurs

Paramètres

L'énergie stockée (en Joule) :

La charge électrique (en Coulomb) :

C est la capacité du condensateur en Farad (F)

V la tension à ses bornes en Volt (V).

Relations d'unités

Les accumulateurs

Caractéristiques

Tension

La tension est un paramètre important. Elle est de l'ordre de un à quelques volts pour un élément. En pratique des tensions plus élevées, typiquement 12, 24 voire 48 V et plus sont requises, il suffit pour augmenter la tension de raccorder des éléments du même type en série au sein d'une batterie d'accumulateurs.

Capacité

Elle se mesure en **Ah** ou **mAh** en multipliant un courant constant par le temps de charge/décharge.

L'unité officielle de charge (SI) est le coulomb, équivalent à un As (ampère pendant une seconde)

1 Ah = mAh = C ; 1 C = Ah = mAh.

Energie

L'énergie stockée dans la batterie est égale à sa charge électrique multipliée par la tension moyenne sous laquelle cette charge est déchargée. L'énergie stockée se mesure habituellement en watt-heure(Wh) mais l'unité officielle (SI) est le joule.

1 Wh = J = kJ ; 1 J = mWh.

Débit maximum

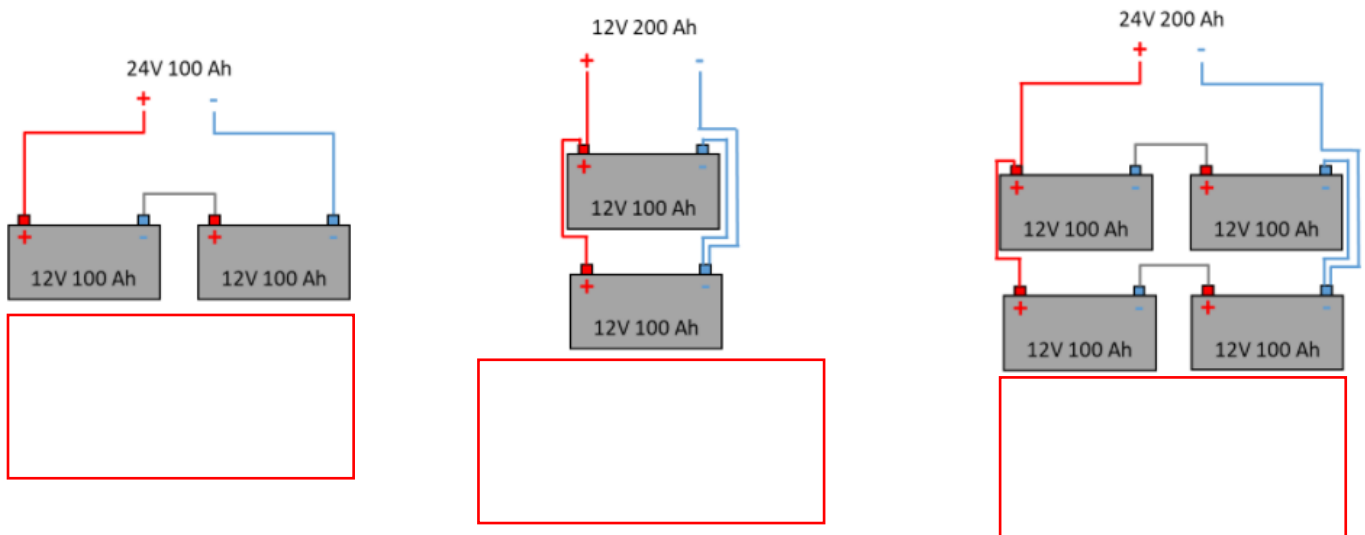
Le débit maximum, ou courant de pointe, d'un accumulateur se mesure en ampère. Il est généralement spécifié en amplitude et en durée et est généralement largement supérieur au débit permanent autorisé.

Courant de charge maximum

Le courant maximum supportable pendant la recharge est indiqué en ampère, mais est souvent exprimé en unité de charge, c'est-à-dire rapporté à la capacité.

Densité

Câblages



Type de batteries

Plomb

Une batterie au plomb est un ensemble d'accumulateurs au plomb-acide sulfurique raccordés en série, afin d'obtenir la tension désirée, et réunis dans un même boîtier.

La batterie au plomb est celle qui a la plus faible énergie massique, 35 Wh/kg, après la batterie nickel-fer mais elle est capable de fournir un courant crête de grande intensité, utile pour le démarrage électrique des moteurs à combustion interne. Elle présente aussi l'avantage de ne pas être sensible à l'effet mémoire.

La tension nominale d'un accumulateur au plomb est de 2,1 V. Généralement, on considère qu'un accumulateur au plomb est déchargé lorsqu'il atteint la tension de 1,8 V, donc une batterie de six éléments ou 12 V est chargée entièrement à 12,6 V et totalement déchargée lorsqu'elle atteint la tension de 10,8 V.

Ni-Cd

Les accumulateurs Ni-Cd (Nickel-Cadmium) sont les plus anciens et les moins chers à l'achat. Ils ont une tension plus faible que les piles alcalines (1,2 volt contre 1,5 volt), ce qui est bien toléré par quasiment tous les appareils modernes.

Un peu dépassés, les Ni-Cd ont cependant quelques avantages : une longue durée de vie, une bonne stabilité dans le temps grâce à une faible autodécharge et surtout un débit en courant instantané grand.

Les principaux inconvénients sont : un faible rapport énergie/volume (contiennent moins d'énergie que les Ni-MH), leur faible capacité limite l'autonomie et surtout l'effet mémoire qui vieillit prématurément les accus Ni-Cd en diminuant leur capacité. Pour éviter l'effet mémoire, ils doivent être complètement déchargés avant de procéder à la recharge.

Ni-Mh

Cette technologie a beaucoup évoluée et arrive à maturité. Les accus Ni-MH ((Nickel-Métal Hydride) ont une excellente capacité en énergie, durent deux fois plus longtemps que les meilleures piles alcalines. Leur tension moyenne est de 1,25 volt (varie de 1,4 à 1,1 pendant la décharge).

A noter que les capacités disponibles sont assez variées suivant les technologies : de 1200 mAh à 3000 mAh au format AA/R6.

Avantages : Ils n'ont pas d'effet mémoire et supportent une charge très rapide de 2-3 heures (voire moins d'une heure). Ils sont rechargeables plus de 100 et jusqu'à 1000 fois.

Inconvénients : Leur principal est une autodécharge relativement rapide (1 ou 2 mois suffisent). On ne peut donc pas les stocker chargés et espérer les utiliser à l'improviste quelques semaines plus tard.

Li-Ion

Les accumulateurs Lithium-Ion ne sont pas disponibles pour les particuliers au format standard AA/R6, compte tenu de leur dangerosité, on doit leur adjoindre un circuit électronique de surveillance et enfermer le tout dans un boîtier bien étanche pour les sécuriser.

La cellule élémentaire Lithium-Ion a une tension nominale de 3,6V, soit trois fois la tension d'un accu Ni/Cd.

Avantages : meilleur rapport énergie/taille et masse. Très faible autodécharge ; accepte des décharges rapides ; peut-être rechargé très rapidement ; possibilité d'être utilisé avec de fortes amplitudes de température (-20°C à +70°C) ; grande durée de vie (2000 cycles à 80% de sa capacité initiale) ; pas d'effet mémoire ; moins polluant.

Inconvénients : les constructeurs n'ont pas fait de formats standards, avec pour résultat des chargeurs et des accus parfois très chers et parfois difficiles à trouver. Obligation d'utiliser des chargeurs spécifiques.

Li-Po

Les accumulateurs au Lithium Polymère (ou Li-Po) présentent de nombreux avantages et constituent indéniablement un énorme progrès technologique dans le monde des batteries.

Les batteries Li-Po demeurent des accumulateurs électrochimiques dont la réaction est basée sur le lithium non pas à l'état ionique (pour le Li-Ion) mais à l'état de polymère (l'électrolyte est sous forme de gel) ce qui le rend beaucoup plus sûr que son cousin le Li-Ion.

Sur ce type d'accumulateur, il n'y a plus l'effet de PEUKERT (voir chapitre suivant). De plus, elles jouissent d'un autre avantage : le poids. En effet, ces batteries sont dénuées de tout emballage de métal qui alourdissait fortement les batteries au Nickel.

En outre, lors charge on peut désormais atteindre de plus hautes intensités. Il était, en effet, conseillé auparavant de charger une batterie Ni-Mh avec une intensité de charge égale à sa capacité (ce qui donne pour un accumulateur de 4000 mAh à une intensité de charge maximale de 4 A pendant 1 heure. A présent, les fabricants rapportent qu'on peut charger un accumulateur Li-Po jusque 5 fois sa capacité (un accumulateur de 4000 mAh pourra donc être chargé à 20 A en 12 minutes). Toutefois, il faut savoir que cela réduira la durée de vie de votre accumulateur voilà pourquoi il est conseillé de ne pas charger au-dessus de 3C et l'idéal reste de charger à 1C.

Les accumulateurs Li-Po ont une tension nominale de 3,7V par élément. Un élément chargé à 100% aura une tension de 4,20V, valeur qu'il ne faut pas dépasser sous peine de destruction. Il ne faut pas descendre en dessous de 2,8v - 3,0V par élément. La tension de destruction est à 2,5V.

Un accumulateur 3 éléments a donc une tension nominale de 11,1V (3x3,7), un 2 éléments une tension de 7,4V, un 4 éléments une tension de 14,8V, un 5 éléments une tension de 18,5V etc.

Comparaison

Type	Densité massique (Wh/kg)	Tension d'un élément	Résistance Interne	Puissance en pointe massique (W/kg)	Durée de vie (nombre de recharges)	Autodécharge par mois
Pile alcaline	80 - 160	1,5 V	1 Ω	?	25 à 500	< 0,3 %
Plomb/acide	30 - 50	2,1 V	0,1 Ω	700	400 - 800	5 %
Ni-Cd	45 - 80	1,2 V	0,15 Ω	?	1 500 - 2 000	> 20 %
Ni-MH	60 - 110	1,2 V	0,25 Ω	900	800 - 1 000	> 30 %
Li-ion	90 - 180	3,6 V	0,2 Ω	1 500	500 - 1 000	10 %
Li-Po	100 - 130	3,7 V	0,25 Ω	250	200 - 300	10 %
Li-Air	1 500 - 2 500	3,4 V	?	200	?	?

Influence sur la capacité des accumulateurs

Effet Peukert

Il est établi que la capacité disponible d'une batterie varie en fonction de la rapidité avec laquelle elle se décharge.

Une batterie fournit l'énergie qu'elle a stockée avec une certaine efficacité. Cette efficacité est altérée lorsque le courant débité augmente. C'est ce qu'on appelle l'effet « Peukert », qui montre que la capacité Q d'une batterie dépend du courant débité.

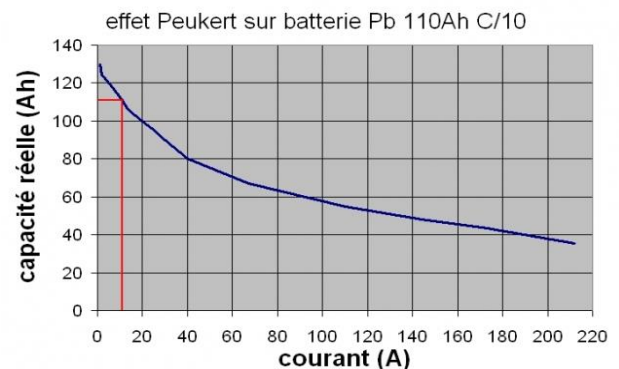
Formule de Peukert : $Q = I^n \cdot t$ (avec n constante propre à la batterie et égale à 1,2 ou 2 ou 3... en fonction de l'intensité du courant I).

Exemple : Nous disposons de deux batteries de 12V identiques A et B entièrement chargées et d'une capacité estimée de 100 Ah.

- La batterie A est déchargée avec un courant de 2 A. La durée de décharge correspond ici à 50 heures (100 Ah / 2 A).
- La batterie B identique est déchargée avec un courant de 20 A. La durée de décharge maximale correspondrait dans ce cas à 100 Ah divisés par 20 A, soit 5 heures. Or si on fait le test réel on mesure 3,5 heures.

En pratique, la capacité d'une batterie en Ah est indiquée avec la mention C/10 ou C/20...

Par exemple, pour une batterie portant sur l'étiquette « 15 Ah - C/10 », cela signifie qu'elle a une capacité Q = 15 Ah si le courant fourni est de 1,5 A (15 Ah/10). L'autonomie en fournissant 1,5 A est donc de 10 heures.

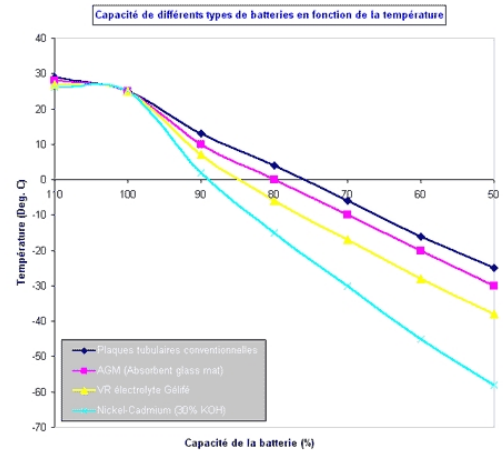


Effet de la température

Une batterie fonctionne de façon optimale aux environs de 20/25°C. Autrement les caractéristiques changent, notamment pour les batteries au plomb (taux d'autodécharge, durée de vie se réduit...).

Les batteries s'autodéchargent naturellement et encore plus quand la température monte, après 10 jours à 40°C, on constate une perte d'efficacité de 20 à 30%.

De même si la température diminue, on constate une perte de capacité de la batterie par rapport à la température nominale d'utilisation (voir le graphe ci-contre).



Recyclage

La collecte et le recyclage des batteries est l'activité visant à récupérer les métaux toxiques, rares, précieux ou économiquement valorisables présents dans les batteries, ou d'autres composants des batteries (acides et plastique notamment).

Les batteries sont en effet l'une des sources d'accumulation dans l'environnement de certains métaux lourds et d'autres produits chimiques pouvant mener à la contamination du sol et la pollution de l'eau.

Le recyclage des piles et batteries est une activité très polluante, et dangereuse pour la santé et l'environnement si elle n'est pas pratiquée de manière conforme aux bonnes pratiques du recyclage des métaux non ferreux.

L'essor des véhicules électriques et hybrides augmente le volume de batteries mises sur le marché, renforçant les enjeux environnementaux de gestion en fin de vie de ces batteries.

La SNAM, société basée en Isère, s'occupe du recyclage d'une bonne partie des batteries d'Europe. Voir leur site pour les détails des différents procédés de recyclage.

Dimensionnement

Capacité :

- Effectuer le bilan énergétique du système en relevant la puissance **P** consommée par le système.
- Indiquer **t** le temps pour lequel la batterie fera fonctionner votre système avant recharge.
- Calculer l'énergie consommée par votre système.

$$E = P \cdot t$$

- Calculer alors la quantité d'énergie nécessaire pour faire fonctionner le système pendant le temps **t** avec une batterie de U Volt :

$$C = \frac{E}{U}$$

- Enfin, la dernière opération sera de prendre en compte le rendement des accumulateurs. Suivant le type d'accumulateur celui-ci ne devra pas se décharger au-delà d'un certain seuil noté α . Dans la plupart des cas, pour être à l'aise on prendra un seuil compris entre 20 et 50% soit α compris entre 0,2 et 0,5.

$$C = \frac{C}{1 - \alpha}$$

Tension :

La tension de votre batterie doit être définie par la tension de fonctionnement de votre système. Si vous avez un moteur fonctionnant en 12 Volt, vous devez faire correspondre la tension de la batterie.

Nombre :

Le nombre de batterie que vous voulez utiliser dépendra de votre tension et de votre capacité. Référez-vous au paragraphe **câblage** pour déterminer votre schéma de montage de vos batteries.

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>	$E = P.t$ $E = U \times Q$