

DC02 ALIMENTER LES SYSTÈMES

Energie et sources d'énergie

Table des matières

1	QU'EST-CE QUE L'ÉNERGIE ?	2
1.1	SOURCES D'ÉNERGIE FONDAMENTALES	2
1.2	FORMES D'UTILISATION DES ENERGIES	3
1.3	ENERGIE PRIMAIRE ET ENERGIE FINALE	3
2	STOCKAGE D'ÉNERGIE	4
3	ENERGIE MECANIQUE	6
4	ENERGIE ELECTRIQUE	8
4.1	Générateurs électrochimiques, piles et accumulateurs	9
4.2	Source photovoltaïque	9
4.3	Energie électrique d'origine mécanique	15
4.4	Source solaire thermodynamique :	16

1 QU'EST-CE QUE L'ÉNERGIE ?

L'énergie est, de manière générale, la capacité de faire un travail, c'est-à-dire d'agir.

Ce terme recouvre plusieurs réalités qui se recoupent partiellement :

au sens de la science physique, l'énergie est une mesure de la capacité d'un système à modifier un état, à produire un travail entraînant un mouvement, un rayonnement électromagnétique ou de la chaleur. Dans le système international d'unités (SI), l'énergie s'exprime en joules² ;

au sens de l'écologie et de l'économie, on appelle énergie une ressource énergétique naturelle (énergie éolienne, énergie nucléaire, énergie solaire, gaz naturel, pétrole) ou son produit (électricité), lorsqu'ils sont consommés par les sociétés humaines pour divers usages industriels et domestiques (transport, chauffage...).

L'ONU a déclaré 2012 comme étant l'année internationale de l'énergie durable pour tous, afin de sensibiliser les États à l'importance d'améliorer l'accès durable à l'énergie, l'efficacité énergétique, et l'énergie renouvelable au niveau local, régional et international.

L'unité du système international pour mesurer l'énergie est le joule (J) , c'est le travail effectué par une force d'un Newton sur un mètre.

$$\text{Energie} = \text{Puissance} \times \text{temps} \quad \text{et donc} \quad 1\text{J} = 1\text{W} \times 1\text{s}$$

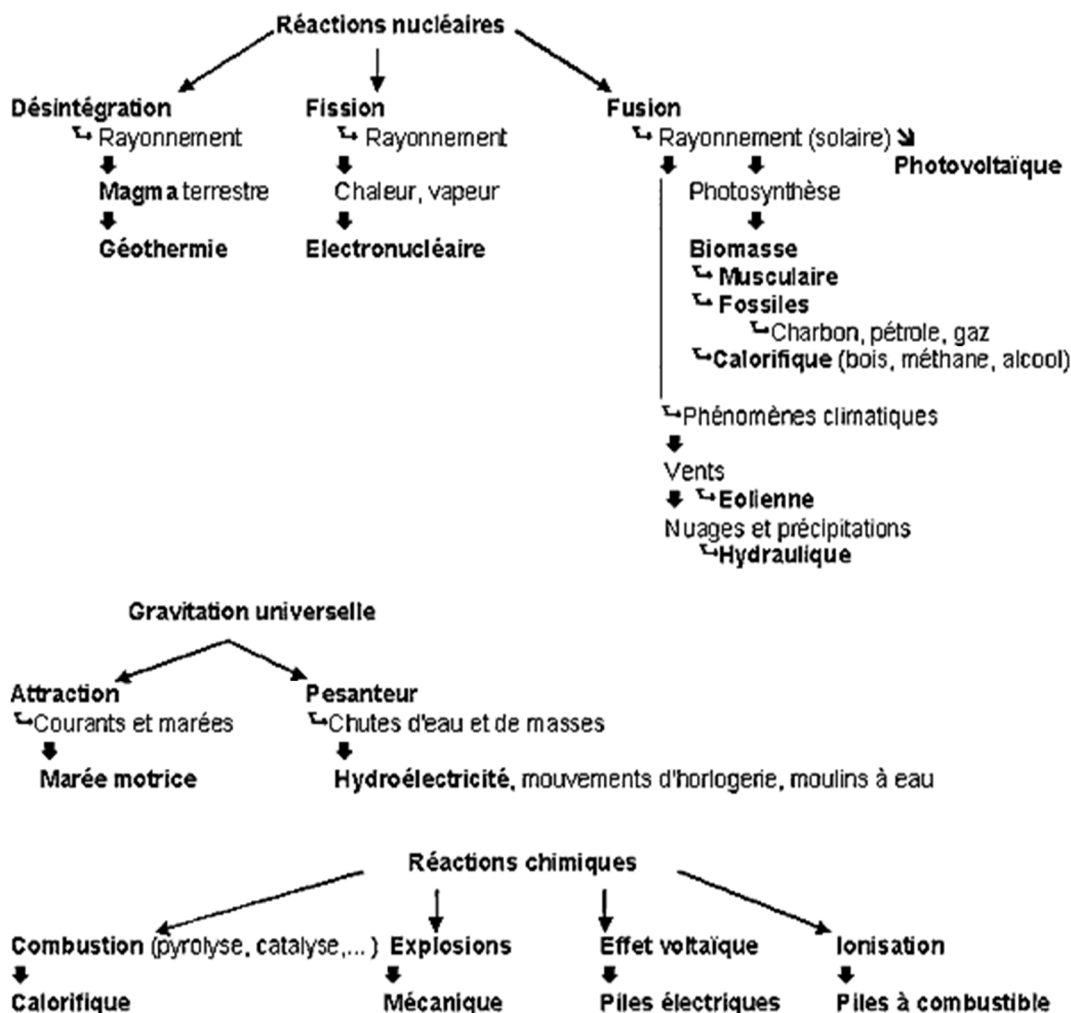
Certaines activités utilisent d'autres unités, notamment : l'électron-volt ($1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$), le m³ de gaz, le kilowatt-heure ($1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$), la tonne d'équivalent pétrole ($1 \text{ tep} = 41,868 \text{ GJ}$), la calorie ($1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$), la grande calorie (en diététique : $1 \text{ Cal} = 1 \text{ kcal} = 4182 \text{ J}$), et le kilogramme en physique relativiste.

1.1 SOURCES D'ÉNERGIE FONDAMENTALES

Il existe seulement trois sources d'énergies fondamentales :

- les réactions nucléaires,
- la gravitation universelle,
- les réactions chimiques.

L'énergie se conserve mais est transformée pour les besoins de l'homme.



1.2 FORMES D'UTILISATION DES ENERGIES

Énergie musculaire	Énergie calorifique	Énergie mécanique	Énergie électrique	Énergie chimique
- les gestes et les mouvements, - les déplacements (marcher, courir, faire du vélo, etc.), - le travail manuel, - avec le cerveau, le contrôle et la commande des outils et des systèmes industriels, - etc.	- cuisson des aliments, - leur conservation - chauffage - fonderie, - forge, - cimenterie, - la distillation, - etc.	- voile, - moulins à vent et à eau, - ressorts et contrepoids des mouvements d'horlogerie, - l'arc, - etc.	- éclairage, - chauffage, froid - électroaimants, - moteurs, - audio, vidéo- - télécommunications, - informatique, - contrôle/cde, - arc électrique (soudure), etc.	- feu - explosions (moteurs) - piles électriques - piles à combustible - etc.

Energies renouvelables : issues du rayonnement solaire, du noyau terrestre et des interactions gravitationnelles de la lune et du soleil avec les océans soit : solaire, éolien, marémotrice, hydraulique, hydrolien, biomasse (bois, résidus bois et récolte, biogaz et biocarburant), déchets, géothermie

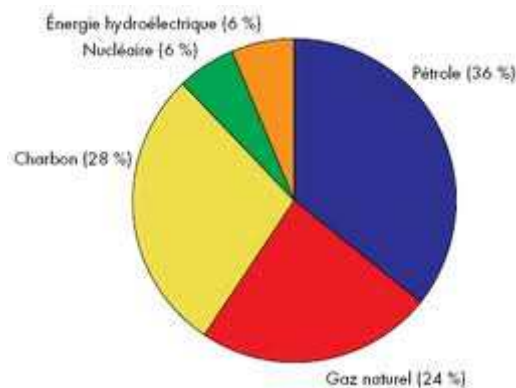
Energies non-renouvelables : issues des fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel...) ou de la fission (uranium)

1.3 ENERGIE PRIMAIRE ET ENERGIE FINALE

L'énergie primaire c'est celle qui est disponible dans la nature : bois, charbon, gaz, pétrole, vent, soleil, hydraulique, géothermique.

Si elle n'a subi aucune conversion l'énergie est donc primaire mais elle peut être énergie secondaire si on l'a convertie vers une autre énergie : par exemple le charbon peut être transformé en électricité.

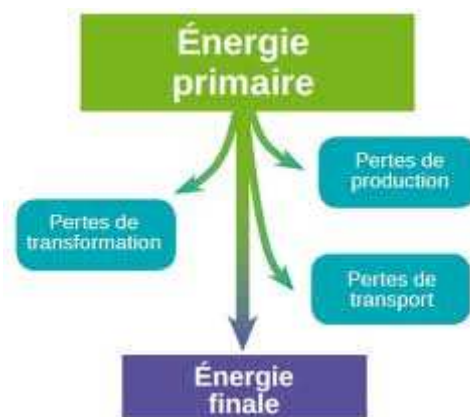
L'énergie délivrée aux consommateurs est l'énergie finale : électricité, essence, gaz, gasoil, fuel et elle devient énergie utile après sa dernière conversion.



Signalons que le taux de conversion pour passer de l'électricité finale à l'énergie primaire est de 2,54.

C'est-à-dire que 1 KWH en énergie électrique finale correspondent à 2,54 KWH en énergie primaire. En effet, pour transformer celle-ci il faut dépenser pour produire et distribuer après avoir éventuellement raffiné.

graphique montrant la consommation mondiale d'énergie primaire



La consommation d'énergie est caractéristique du niveau de développement d'un groupe de population, parmi les 7 milliards d'habitants de la terre :

- 80 % de l'énergie est consommée par 20 % de la population mondiale (Amérique de Nord, Europe Unie, Japon) offrant une espérance de vie d'environ 80 ans,
- 19 % de l'énergie est consommée par 60 % de la population, avec une espérance de vie à peine supérieure à 53 ans (Amérique du Sud, Europe centrale, Moyen Orient, Asie de l'Est),
- le 1 % restant est consommé par 20 % de la population, essentiellement pour cuire quelques aliments, avec une espérance de vie inférieure à 40 ans (Afrique Équatoriale, Inde, etc.).

STOCKAGE D'ENERGIE

Stockage de l'énergie par le vivant ?

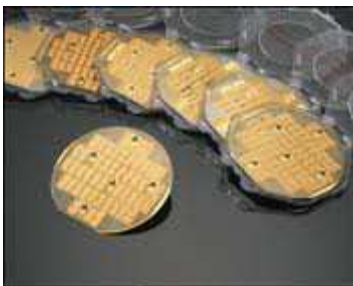
Dans les cellules, l'énergie peut être présente sous une forme directement utilisable (ATP : adénosine tri-phosphate), ou au contraire stockée pour plus tard sous forme de sucres simples ou ramifiés (amidon), de graisse chez les animaux, d'huiles chez les végétaux

Stockage de l'énergie électrique ?



La possibilité de stockage la plus répandue est dans les générateurs électrochimiques : piles et accumulateurs, mais uniquement pour de faibles puissances.

On développe aussi des supercondensateurs :
Densité de puissance de 1000 à 5000 W/kg
Temps de charge et décharge de quelques secondes



Wafers Micropack

On retrouve aussi des micropiles à combustible :

Ces micropiles, d'une puissance allant de quelques milliwatts à 10 watts, associées à une cartouche de combustible (par exemple de l'hydrogène) peuvent fonctionner deux à trois fois plus longtemps qu'une batterie au lithium. En effet, la densité d'énergie massique accessible est voisine aujourd'hui d'une batterie lithium ion et sera dans un futur proche de 500 Wh/kg contre 200Wh/kg.

L'électricité ne se stocke pas à l'échelle industrielle : à tout instant, la production d'électricité doit être égale à celle qui est consommée. RTE (Réseau Transport d'Énergie) veille donc à assurer, en permanence, un équilibre entre les offres de production et les besoins de consommation qui varient avec la saison, la météo du jour, de l'heure... Des prévisions définissent les besoins théoriques nécessaires et les ajustements ont lieu en permanence pendant la journée.

On peut citer aussi le stockage magnétique à supraconducteur est appelé aussi SMES "Superconducting Magnetic Energy Storage" (Stockage d'énergie magnétique par bobine supraconductrice). Ce système permet de stocker de l'énergie sous la forme d'un champ magnétique créé par la circulation d'un courant continu de très haute intensité dans un anneau supraconducteur refroidi sous sa température critique de transition vers l'état supraconducteur. Le coût des équipements nécessaires et l'énergie requise pour la réfrigération réservent ce type de stockage à des applications de hautes technologies.

Stockage de combustible ?

Il est évidemment possible de stocker du combustible, par exemple du bois, la combustion restant le processus énergétique le plus courant.



Stockage de l'énergie mécanique ?

Stockage de l'énergie cinétique : volant d'inertie

L'énergie est stockée sous forme d'énergie cinétique par la rotation d'un disque lourd. Pour accumuler l'énergie, un moteur accélère le disque. Pour utiliser l'énergie, on freine le disque qui en ralentissant libère l'énergie. En pratique, dans le cas de stockage d'énergie électrique, le générateur peut être le moteur (le même engin électrique peut faire office de moteur ou de frein/générateur). Le frottement doit être minimal pour éviter les déperditions. C'est possible en plaçant le volant dans le vide et sur des paliers à lévitation magnétique. De plus grandes vitesses de volant permettent une plus grande capacité de stockage mais exigent des matériaux ultra résistants pour résister à l'éclatement et éviter les effets explosifs d'une panne du système, au cours de laquelle l'énergie cinétique de rotation serait convertie en énergie cinétique de translation (autrement dit, le disque se transformerait en projectile...)

En pratique, ce type de stockage est d'un usage très courant mais il se limite principalement aux volants d'inertie au sein des moteurs et des appareils de production d'énergie ; ils y opèrent un lissage à très court terme pour régulariser la fourniture d'énergie. C'est notamment le cas de tous les moteurs thermiques, surtout des moteurs turbo Diesel dont les à-coups sont importants.



Stockage de l'énergie potentielle

Stockage sous forme d'énergie potentielle de chute (par remontée d'eau derrière des barrages quand il y a surproduction d'électricité) est déjà très utilisé pour la régulation et l'équilibrage des réseaux électriques. Il accroît la rentabilité et disponibilité des énergies renouvelables.

Stockage de l'énergie avec air comprimé

On sait utiliser de l'air comprimé pour produire un travail mécanique, par conséquent il est possible de stocker de l'énergie en comprimant un gaz (en général avec un compresseur mu par de l'énergie électrique disponible). Le rendement sera médiocre, car la compression s'accompagne d'un échauffement du gaz, sauf à récupérer la chaleur produite (cogénération air comprimé + chaleur). Un système de ce type est actuellement développé par la société Enairys.

A plus grande échelle, on peut utiliser des cavernes souterraines ou d'anciennes mines pour stocker l'air comprimé. 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. Des installations de ce type ont été mises en place ou sont en projet à McIntosh dans l'Alabama (États-Unis)¹⁹, dans l'Iowa²⁰ et en Allemagne²¹, bien que le rendement ne soit que d'environ 40 %.

Stockage de l'énergie thermique ?

Stockage par chaleur sensible

Dans le stockage par chaleur sensible, l'énergie est stockée sous la forme d'une élévation de température du matériau de stockage. La quantité d'énergie stockée est alors directement proportionnelle au volume, à l'élévation de température et à la capacité thermique du matériau de stockage. Ce type de stockage n'est limité que par la différence de température disponible, les déperditions thermiques du stockage (liée à son isolation thermique) et l'éventuel changement d'état que peut être amené à subir le matériau de stockage (fusion ou vaporisation).

stockage thermique à Krems en Autriche, 50 000 m³ d'eau, 2 GWh



Quelques exemples de stockage de chaleur sensible :

Dans les systèmes de chauffage domestiques, on utilise parfois la grande inertie thermique de certains matériaux (briques, huile) pour restituer lentement la chaleur accumulée au cours des périodes où la chaleur a été produite ou captée. Mais le plus souvent, le stockage est assuré par un ballon d'eau chaude isolé.

Dans les fours à feu de bois, en brique et terre réfractaire, la capacité de la voûte du four à emmagasiner la chaleur est utilisée pour la cuisson d'objets (poterie, émaux, etc.) ou de plats (pain, pizza, etc.).

Le stockage de l'énergie excédentaire produite par les centrales solaires le jour, afin d'être utilisée le soir et la nuit (exemple : chauffage urbain de la ville de Krems sur le Danube, voir photo). Cette technique est utilisée dans des centrales solaires thermiques, telles les trois centrales d'Andasol en Espagne qui peuvent stocker chacune 0,35 GWh dans des réservoirs de sels chauffés à 390 °C.

Stockage par chaleur latente

Dans le stockage par chaleur latente, l'énergie est stockée sous la forme d'un changement d'état du matériau de stockage (fusion ou vaporisation). L'énergie stockée dépend alors de la chaleur latente et de la quantité du matériau de stockage qui change d'état.

Contrairement au stockage sensible, ce type de stockage peut être efficace pour des différences de températures très faibles. Dans le cas du changement de phase solide/liquide, et pour une quantité d'énergie stockée et un matériau de stockage donnés, le

stockage latent nécessite moins de volume que le stockage par chaleur sensible du fait que la chaleur latente est généralement beaucoup plus élevée que la capacité calorifique.

Quelques exemples de stockage de chaleur latente :

Des matériaux à changement de phase (MCP) sont actuellement étudiés pour améliorer l'inertie thermique des parois des bâtiments.

Les pompes à chaleur, notamment les réfrigérateurs, congélateurs et climatiseurs, utilisent des fluides changeant de phase comme caloporteurs. Ceux-ci ne stockent pas à proprement parler de chaleur, l'emmagasinant uniquement le temps du transport.

À l'échelle industrielle, on peut stocker la chaleur solaire dans des réservoirs, comme intermédiaire avant la production d'électricité, pour lisser l'apport solaire ; ce type d'usage est marginal en volume mais c'est une voie intéressante dans le cadre d'une production électrique par une centrale solaire thermodynamique.

Ces deux types de stockage peuvent être utilisés pour stocker du froid.

3 ENERGIE MECANIQUE

L'énergie mécanique est une quantité utilisée en mécanique classique pour désigner l'énergie d'un système emmagasinée sous forme d'énergie cinétique et d'énergie potentielle mécanique. C'est une quantité conservée lorsqu'aucune force extérieure ou force non conservative (le frottement ou encore un choc) n'intervient dans le système et s'avère, pour cela, pratique à utiliser.

L'**énergie cinétique** est l'énergie que possède un corps du fait de son mouvement.

L'**énergie potentielle mécanique** est l'énergie potentielle de gravité ou l'énergie potentielle de déformation (ressort, poutre...)

Les véhicules des montagnes russes atteignent leur maximum d'énergie cinétique au bas de leur parcours. Lorsqu'ils commencent à monter, l'énergie cinétique commence à être transformée en énergie potentielle. La somme de l'énergie cinétique et potentielle du système reste constante, si on néglige les pertes (relativement faibles) dues aux frottements

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \qquad \text{En translation :} \qquad \text{En rotation :} \qquad E_c = \frac{1}{2}J.\Omega^2$$

Energie potentielle de gravité : $W = m.g.h$

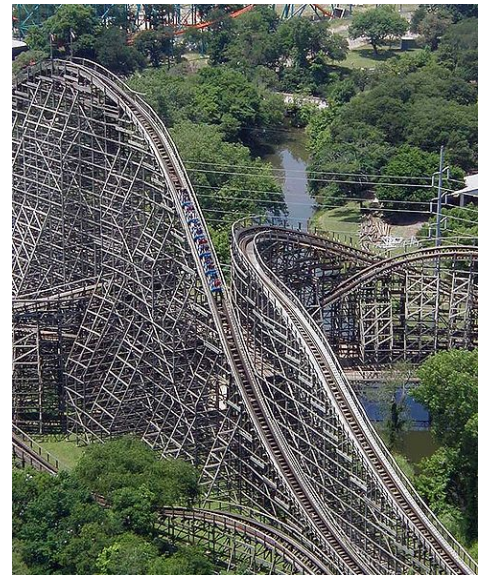
L'énergie mécanique peut par exemple être obtenue par transformation d'une énergie électrique (moteur) ou d'une énergie pneumatique ou hydraulique (vérin) ou d'une énergie biomécanique (vélo).

L'*énergie hydraulique* est l'énergie mise en jeu lors du déplacement ou de l'accumulation d'un fluide incompressible telle que l'huile, l'eau douce ou l'eau de mer. Ce déplacement produit un travail mécanique qui est soit directement utilisé sous forme d'énergie mécanique (moulin à eau ou machine hydraulique) soit transformée en hydroélectricité (barrages...)

Dans une machine hydraulique, l'huile mise sous pression par une pompe et injectée dans un vérin pousse une lourde charge en exerçant une force qui peut atteindre plusieurs tonnes.

L'énergie pneumatique est l'énergie emmagasinée dans un gaz comprimé.. Dans un système pneumatique, le gaz comprimé est utilisé comme moyen de transport et de stockage d'énergie. De production facile, le système pneumatique présente un certain nombre d'avantages. Comme un système hydraulique, un système pneumatique est fondé sur une différence de pression entre deux zones, qui crée une force, puis un mouvement. Mais un système hydraulique utilise un fluide non compressible, un liquide, alors qu'un système pneumatique s'appuie sur un fluide compressible, un gaz.

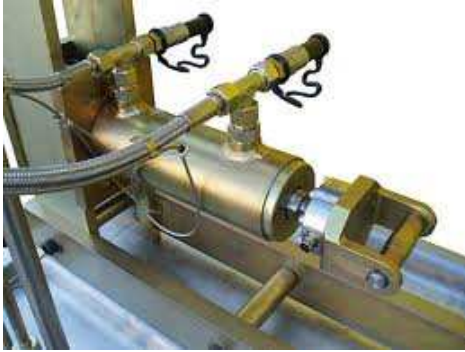
Les systèmes pneumatiques sont utilisés dans tous les domaines de la vie quotidienne occidentale : amortisseurs ; accumulateurs pour les systèmes hydrauliques ; armes à feu ; automatisation de machines outil ; machines frigorifiques, qui utilisent un gaz compressible sur toute une partie du cycle de fonctionnement ; moteurs à vapeurs, turbines à vapeur, moteurs à combustion interne, turbines à gaz, réacteurs, éoliennes ; système respiratoire... Sans oublier notre Terre, dont l'atmosphère est le plus complexe système pneumatique existant.



Différents types de vérins

Il existe de très nombreux types de vérins. On les distingue par le fluide de travail (vérins hydrauliques, vérins pneumatiques), par leur action (simple action ou simple effet, double action ou double effet, rotatif), ou par d'autres caractéristiques (vérins à chambre ovale, vérins à double tige, vérins à câble, vérins télescopiques, etc.)

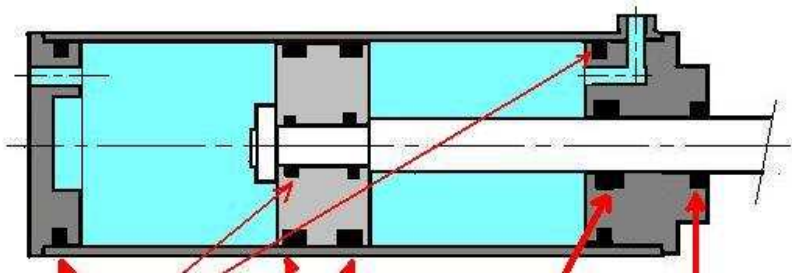
Le vérin pneumatique est utilisé avec de l'air comprimé entre 2 et 10 bars dans un usage courant. Simple à mettre en œuvre, il est très fréquent dans les systèmes automatisés industriels.



Le vérin hydraulique transforme l'énergie hydraulique (pression, débit) en énergie mécanique (effort, vitesse). Il est utilisé avec de l'huile sous pression, jusqu'à 350 bars dans un usage courant. Plus coûteux, il est utilisé pour les efforts plus importants et les vitesses plus précises (et plus facilement réglables) qu'il peut développer.



Le vérin électrique produit un mouvement comparable mais avec l'aide d'un système vis-écrou, dont l'écrou est entraîné par un moteur électrique.



Un vérin se caractérise par sa course, par le diamètre de son piston et par la pression qu'il peut admettre. La course correspond à la longueur du déplacement à assurer, L'effort développé dépend de la pression du fluide et du diamètre du piston.

$$F = P.S \qquad V = \frac{Q}{S} \qquad \text{Puissance} = F.V = P.S.V = P.Q$$

F est la force développée exprimée en newtons.

P est la pression exprimée en pascals

S est la surface d'application de la pression exprimée en mètres carrés,

V la vitesse en m/s. de sortie du piston

Q le débit volumique en m³/s.

En automatismes, on emploie également les unités pratiques : F en daN, P en bar et S en cm².

Le produit de la surface du piston par la course donne la cylindrée du vérin; elle correspond au volume de fluide nécessaire pour sortir toute la tige du piston.

4 ENERGIE ELECTRIQUE

L'énergie électrique peut venir de différentes sources :

- origine chimique : batteries et accumulateurs
- origine solaire : photovoltaïque
- origine mécanique : alternateur

Diagramme de Ragone

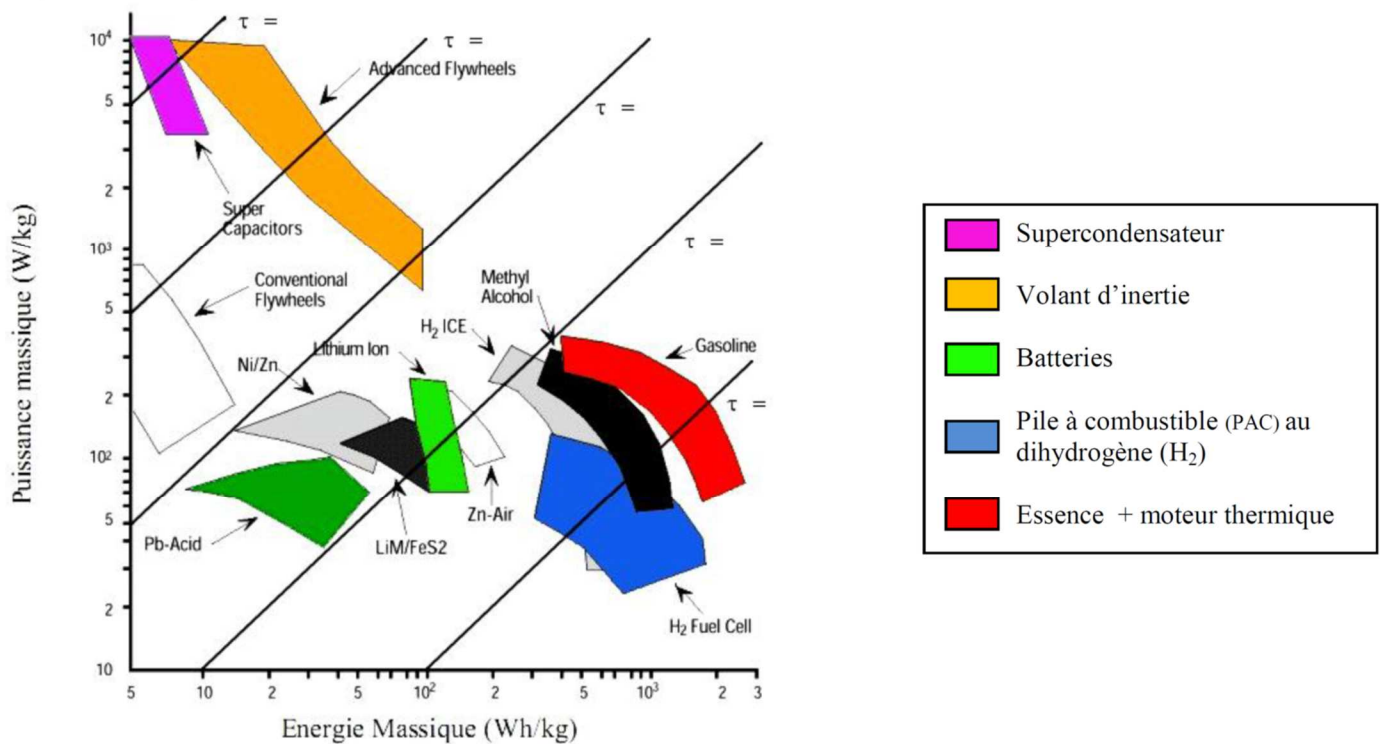
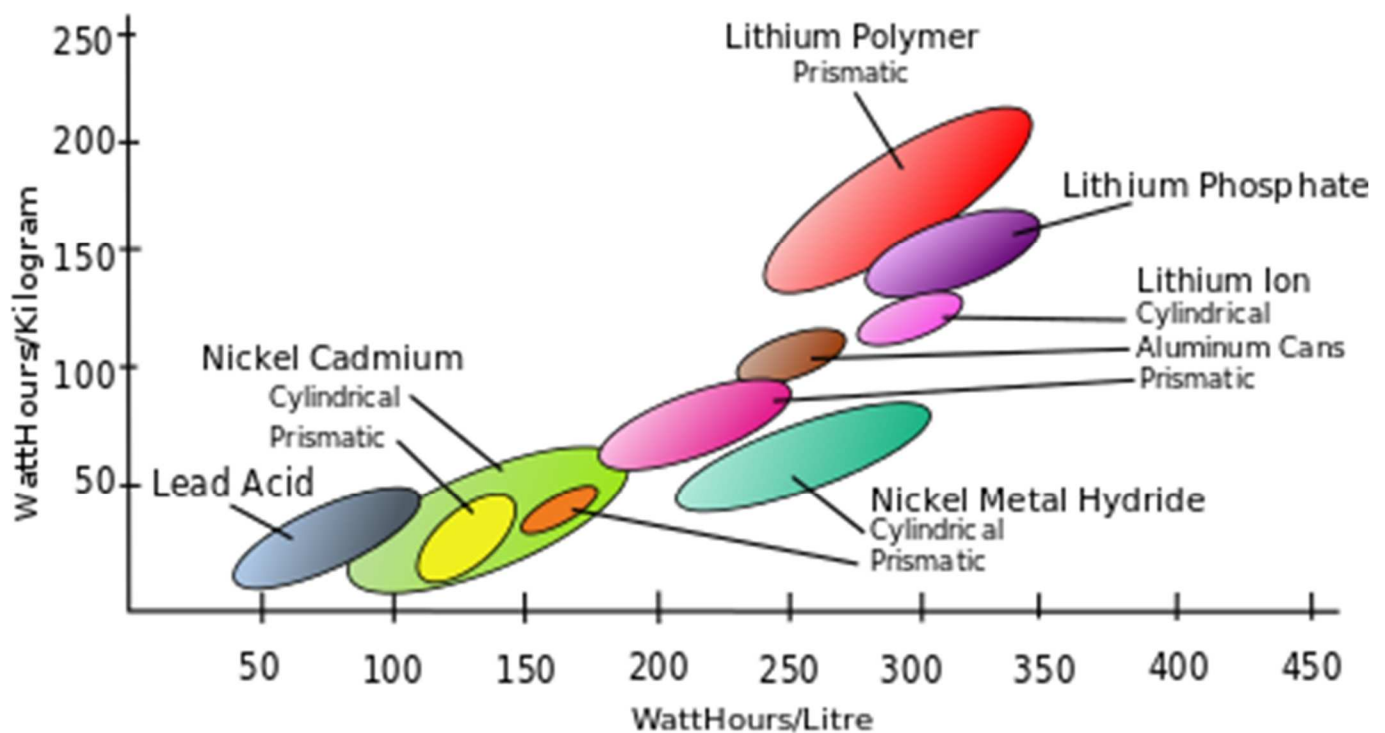


Diagramme plus précis pour les batteries uniquement avec un choix en fonction de l'énergie massique ou volumique :



4.1 Générateurs électrochimiques, piles et accumulateurs

Les termes pile, accumulateur, batterie, désignent des dispositifs dont la fonction est de transformer directement, c'est-à-dire sans passage par une forme intermédiaire, l'énergie libérée par une réaction chimique en énergie électrique. Ces dispositifs sont des générateurs électrochimiques.

Ainsi les piles « boutons » alimentant les montres à quartz, les batteries diverses (Ni-Cd, Ni-MH, Li-ion) alimentant des systèmes portables tels que téléphones, ordinateurs, outils à main, les accumulateurs au plomb, dits « SLI », assurant le démarrage (Start), l'éclairage (Light) et l'allumage (Ignition) des véhicules à moteur thermique sont des générateurs électrochimiques.

L'accumulateur intervient aussi dans le secteur industriel. On peut citer les batteries stationnaires de secours et celles équipant les chariots de manutention. En perspective, le stockage massif de l'énergie électrique pourrait, d'une part, faciliter le fonctionnement des réseaux électriques, d'autre part, jouer le rôle de tampon auprès de générateurs intermittents d'énergie électrique (éoliens, photovoltaïques).

Les générateurs électrochimiques produisent du courant continu avec une différence de potentiel relativement faible (en général de 1 à 3 V).

Pour obtenir une tension plus élevée, il faut utiliser plusieurs éléments en série, cela permet d'obtenir par exemple plus de 120 V dans certaines batteries. On peut aussi relier plusieurs éléments identiques en parallèle pour obtenir des courants plus élevés qu'avec un élément utilisé seul.

Un générateur électrochimique comprend au minimum un récipient, deux électrodes avec leurs contacts, un électrolyte et un séparateur



Type	Énergie massique	Tension d'un élément	Durée de vie (nombre de recharges)	Temps de charge	auto-décharge par mois
Plomb	30-50 Wh/kg	2,1 V	200-300	8-16 h	5 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	1 500	1 h	> 20 %
Ni-MH	60-120 Wh/kg	1,25 V	300-500	2-4 h	> 30 %
Alcaline	80-160 Wh/kg	1,5-1,65 V	100	1-16 h (selon capacité)	< 0,3 %
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,7 V	500-1 000	2-4 h	10 %

Capacité d'une batterie $Q = I \cdot t$

La capacité d'une batterie s'exprime en Ampère.Heure (A.h).

Exemple : Batterie 7,2V 1200mAh Signifie : Tension de service : 7,2V, Capacité $Q = 1200mAh$

On utilise éventuellement le Watt.heure W.h = Ampère.heure A.h x la tension de la batterie U en Volts.

Exemple : On souhaite faire fonctionner un moteur électrique de modèle réduit 12W, 7.2V pendant 90 minutes. Quelle devra être la capacité Q (en Ah) et la tension de service de ma batterie ?

Batterie : $6 \cdot 1,2V = 7,2V$ de type NiMH ou NiCd par exemple (6 éléments de 1,2V)

Courant absorbé par le moteur : $P_{abs} = U \cdot I$ d'où $I = P/U = 12/7,2 = 1,6A$

$Q = \text{Courant} \cdot \text{temps} = I \cdot T = 1,6 \cdot 1,5 = 2,4Ah$ (90min = 1,5h)

Il faut donc un pack batterie de 7,2V 2400mAh

Suivant le type de batteries, les courbes de charges et de décharge sont variables. Un (bon) chargeur de batterie doit être adapté au type d'accumulateur qu'il recharge pour que le nombre de cycles réalisables (charge et décharge) soit le plus élevé possible.

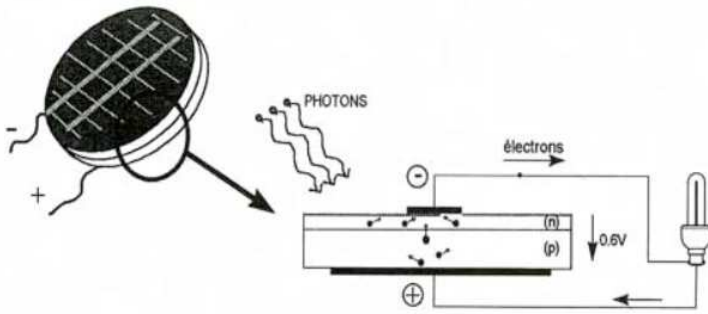
4.2 Source photovoltaïque

« L'énergie solaire captée par la terre pendant une heure pourrait suffire à la consommation mondiale pendant une année »



La **génération directe d'électricité** à partir d'un rayonnement lumineux associée aux énormes ressources énergétiques solaires constitue, à long terme, l'un des principes les plus prometteurs de production d'énergie électrique. La conversion photovoltaïque est statique, elle offre un total silence de fonctionnement et permet d'envisager une très grande fiabilité. Enfin, elle se prête extrêmement bien à une forte décentralisation en exploitant directement les surfaces de toitures des bâtiments.

Principe d'une cellule photovoltaïque :



La puissance crête d'un panneau solaire est une donnée normative . Elle correspond à la puissance max que peut délivrer un module. Cette puissance permet de comparer les modules entre eux.

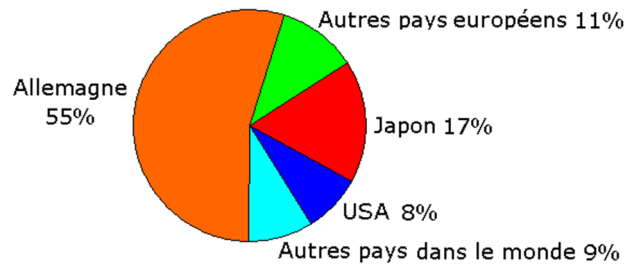
Les conditions standards de test sont:

Eclairements 1000W/m²

Température 25°

Air masse 1,5 (AM 1,5)

Un module 100Wc de 1m² a donc un rendement de 10% !



Les pays qui ont fait le choix du photovoltaïque :

4.2.1 Panneaux de première et deuxième génération :

Il existe différentes technologies de panneaux solaires (monocristallin, polycristallin, amorphe , souple....) qui diffèrent par leur aspect, leur rendement et leur prix...

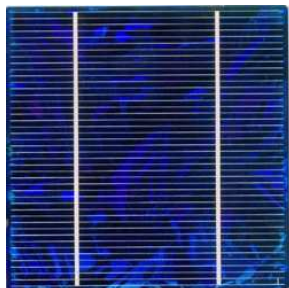
technologie	Méthode de fabrication	rendement	avantages	inconvénients	Part de marché
Monocristallin	Croissance d'un lingot puis découpe (ep 300 µm)	13 à 17 %	Bon rendement	Coût de fabrication élevé (. 2,5€ le Wc) Pertes du à la découpe	38%
Multi cristallin	Moulage d'un lingot puis découpe (ep 200µm)	11 à 15%	Cellules carrées. Bon rendement par superficie	Coût de fabrication élevé (. 2,€ le Wc) Pertes du à la découpe	52%
Couches minces	Dépôt d'une couche mince sur un substrat (ep 10 à 40 µm)	6 à 7 %	Facile à fabriquer. Résistant aux variations de température. souple	Rendement faible	6%
amorphes	Dépôt d'une couche mince sur un substrat (1 µm)	6 à 7 %	Coût de fabrication faible (0,5€ le Wc) Surface grande		

Les panneaux monocristallins actuels avec des traitements appropriés peuvent atteindre un rendement record de 25% mais ils sont alors beaucoup plus chers à l'achat.

Les solutions amorphes ont un avantage : la flexibilité et réagissent aussi à la lumière ambiante, on les trouve par exemple sur des calculatrices... mais le rendement n'est pas très élevé.

Le problème essentiel des panneaux à base de silicium est la quantité d'énergie grise pour les concevoir. En effet, il faut une série de traitements pour obtenir les lingots de silicium suffisamment pur. Cela nécessite des traitements haute température qui sont donc très consommateurs d'énergie.

Il faut actuellement environ 3 ans à un panneau classique polycristallin pour produire l'énergie équivalente à celle qu'il a fallu mettre en œuvre pour le fabriquer.



Le recyclage est également difficile car il faut séparer toutes les composantes matérielles du panneau pour le recycler. L'association européenne PVCycle permet de récupérer 95% des matériaux utilisés.



4.2.2 Panneaux de 3^{ème} et 4^{ème} génération :

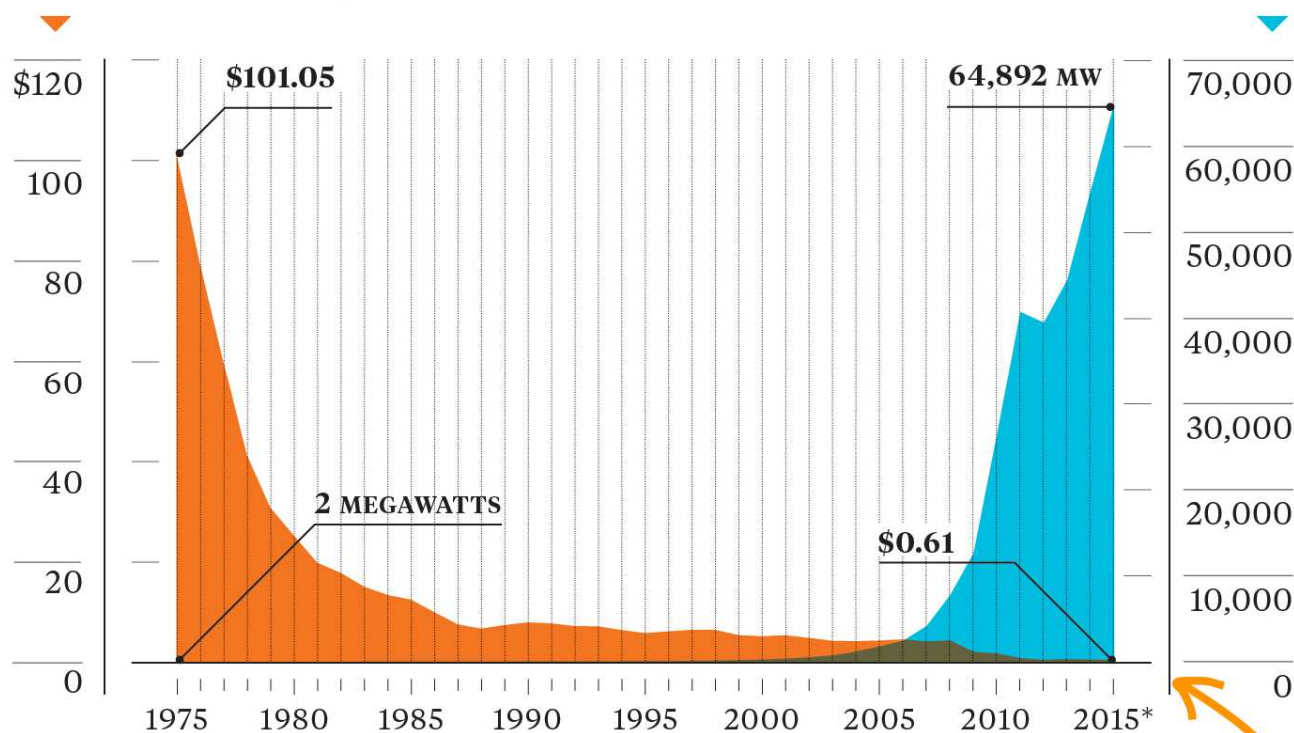
Les besoins en énergie des habitants de la planète ne font que croître :

- actuellement 16 TW
- projection 2050 : 30 TW
- projection 2100 : 46 TW

Or le fossile est par définition bientôt épuisé, l'idée est donc que le renouvelable solaire doit permettre de compenser en grande partie cette augmentation de demande en énergie... L'augmentation prévue correspondrait à l'installation de 20 km² de panneaux supplémentaires chaque jour !

Price of a solar panel per watt

Global solar panel installations



Down to \$0.37 in Late 2017

*Estimate. Sources: Bloomberg, Earth Policy Institute, www.earth-policy.org

Il faut donc d'autres solutions de panneaux solaires qui peuvent produire même avec des luminosités assez faibles, en intérieur par exemple, et de plus qui ne coutent pas trop en énergie à la production.

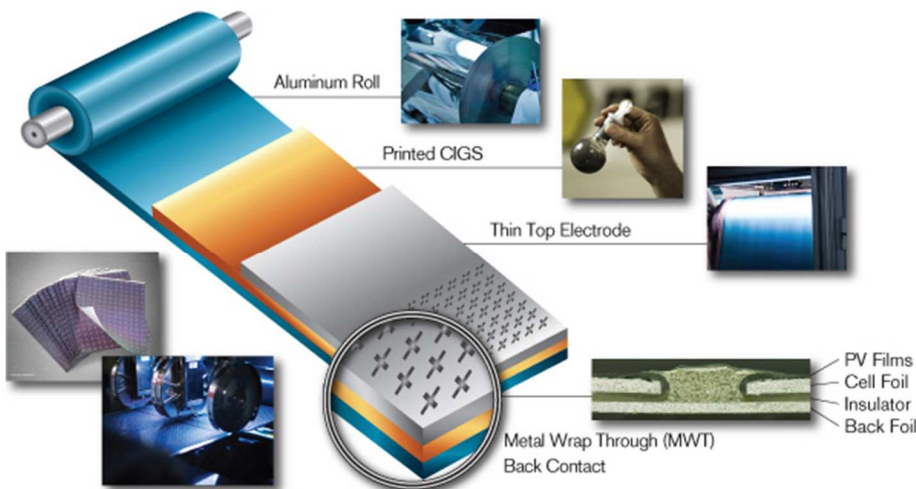
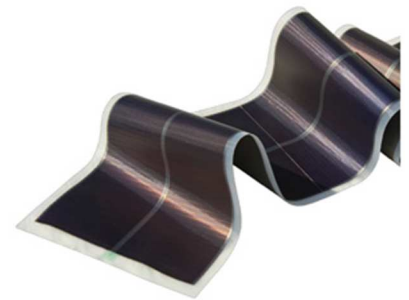
Les solutions actuelles utilisent davantage des procédés basse température (moins de 200°C) qui coutent peu en énergie et de l'impression directe des composants photovoltaïques à l'aide d'imprimantes dédiées.



Ici le centre de congrès de Lausanne en Suisse. Les panneaux sont composés de colorants réagissant à l'énergie des photons et sont associés à de l'oxyde de titane pour obtenir l'effet photovoltaïque. On peut obtenir ainsi environ 13% de rendement mais depuis 2013, plus d'amélioration nette de ce procédé.

L'idée de départ était de comprendre comment avec une feuille d'arbre, le colorant naturel (chlorophylle) permettait la photosynthèse et donc la libération d'énergie...

On retrouve aussi des panneaux photovoltaïques organiques (OVP) utilisant des plastiques et des nanoparticules pour augmenter la surface de réception de la lumière, qui sont imprimées directement sur le plastique. On peut ainsi obtenir n'importe quelle forme. La plupart du temps, on retrouve des rouleaux que l'on peut étendre où on veut. L'avantage est que cela fonctionne aussi avec de la lumière faible, voir artificielle. On pourrait donc en mettre sur des murs intérieurs... Le rendement actuel est de l'ordre de 13 à 15%.



Solutions organiques (à base de plastique et conducteurs polymères)



On recherche ici des solutions de production de petite puissance, notamment avec l'essor des objets connectés et des réseaux de capteurs qui pourraient ainsi être plus autonomes énergétiquement.

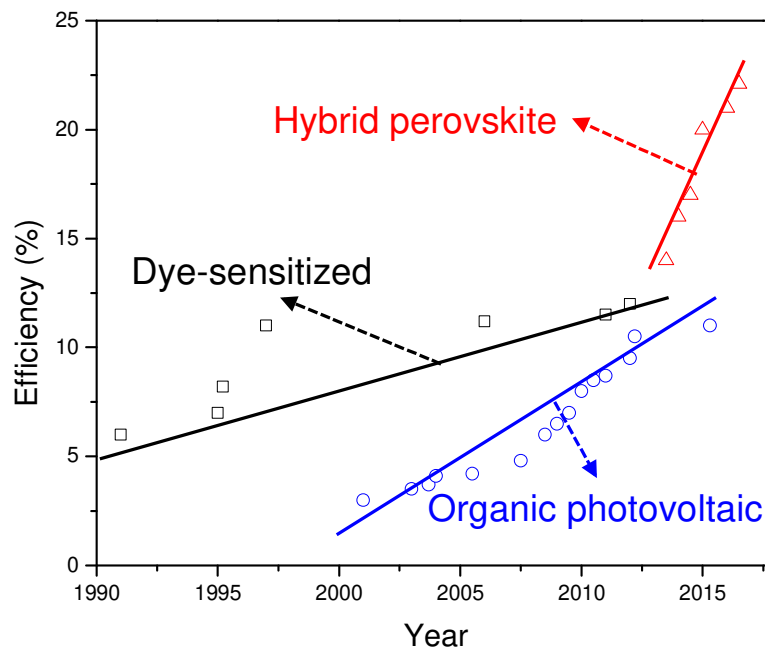
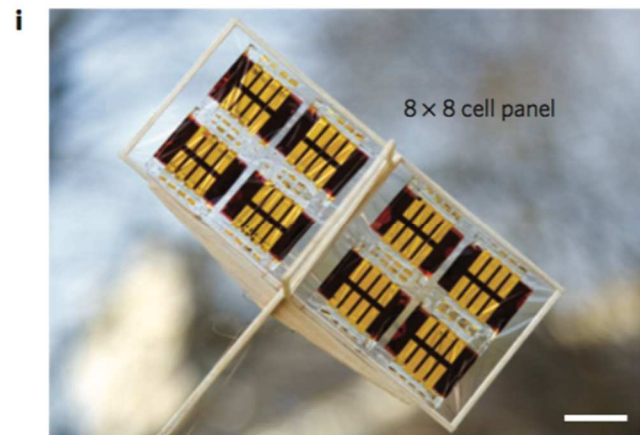
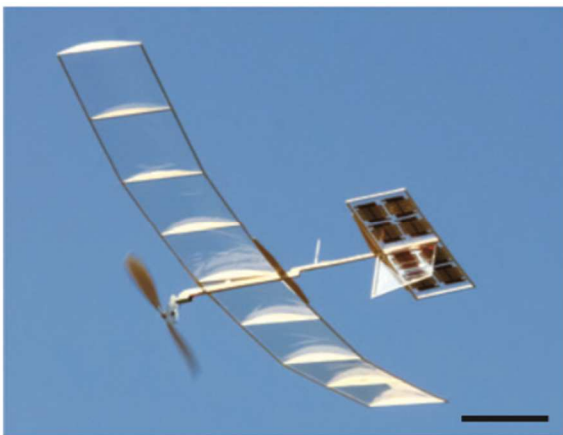
On développe aussi des solutions hybrides organiques avec du pérovskite (titanate de calcium), qui permettent d'atteindre des rendements plus élevés avec une finesse extrême des couches composant les cellules, mais le pérovskite contient une part infime de plomb, ce qui est néfaste pour l'environnement et donc peu développé en Europe. De plus ces cellules ne sont pas toujours stables, notamment d'un point de vue résistance à l'eau.



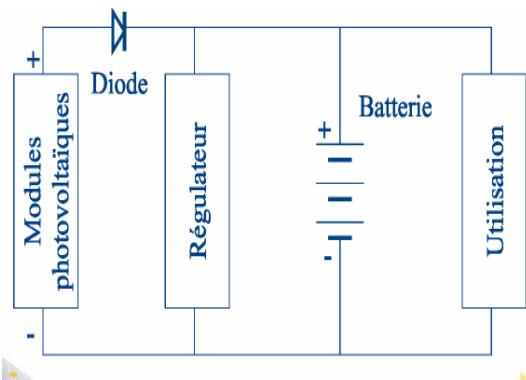
Il reste donc à rendre ces cellules beaucoup plus stables. En 2017, dans la revue *Nature Communication* une équipe de l'École polytechnique fédérale de Lausanne suggère que l'instabilité des cellules à pérovskites peut être surmontée grâce à certaines technologies à faible coût, permettant la fabrication de cellules ultra-performantes de confection peu coûteuse. Ceci pourrait révolutionner le marché de l'énergie photovoltaïque, en faisant chuter les coûts tout en augmentant brutalement la productivité des panneaux¹⁴.

Non seulement les chercheurs de l'EPFL ont développé une méthode simple de dépôt de couches enrobantes de 60 nm d'épaisseur de CuSCN (grâce à une évaporation accélérée du solvant), mais ils ont encore amélioré la stabilité des cellules pérovskite dopées au thiocyanate de cuivre (en le protégeant par une fine couche d'oxyde de graphène réduit)¹⁴.

Pour un rendement initial dépassant 20 % pour un film neuf, les modules n'ont alors perdu qu'un peu moins de 5 % de leurs performances lors du test de vieillissement consistant à les exposer à 1 000 heures d'équivalent pleine lumière solaire, à 60°C, c'est un nouveau record. Le thiocyanate de cuivre (CuSCN) est l'un des candidats les plus intéressants, car relativement stable, efficace et surtout très bon marché (0,5 \$/g contre 500 \$/g pour le spiro-OMeTAD qui est le plus utilisé). L'ajout d'une fine couche d'espacement en oxyde de graphène réduit entre les couches de CuSCN et une couche d'or a stabilisé les films solaires pérovskite, plus qu'avec les meilleures cellules solaires en pérovskite à base de HTM organique).



Photovoltaïque en site isolé :



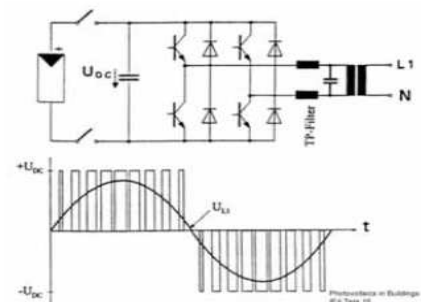
L'énergie photovoltaïque doit être stockée dans des batteries et restituée à la demande. Le régulateur assure la régulation de la charge décharge de la batterie (durée de vie).
 Pour dimensionner une installation, il faut définir les besoins journaliers et l'autonomie nécessaire, on en déduit la capacité de la batterie à choisir puis on calcule la surface de panneaux nécessaire pour recharger correctement cette batterie.



Photovoltaïque relié au réseau



On utilise des onduleurs pour transformer la tension continue issue des panneaux solaires en tension alternative apte à être couplée au réseau.

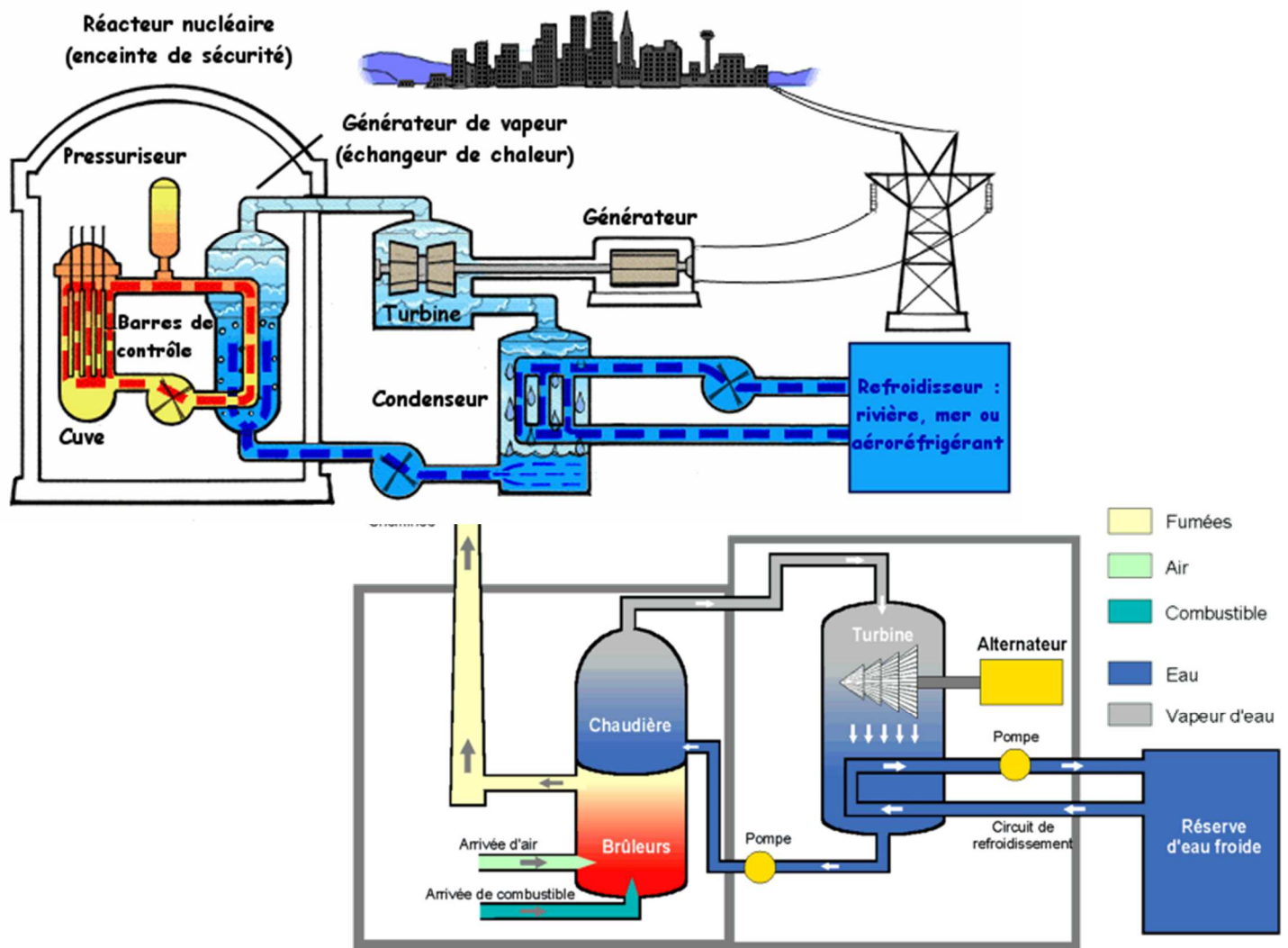
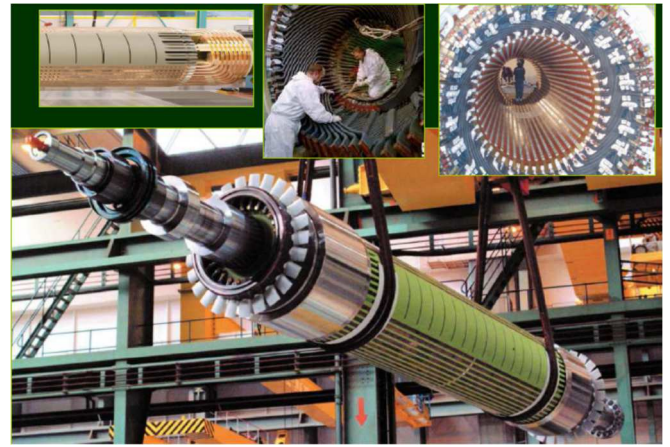


4.3 Energie électrique d'origine mécanique

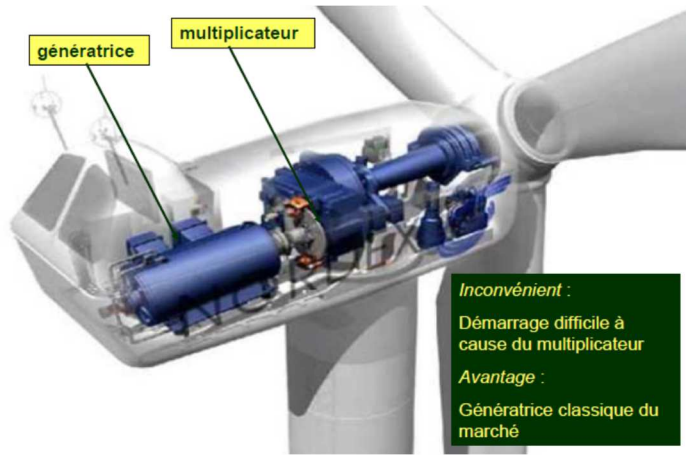
Cette transformation, provient de la mise en mouvement d'un aimant dans un bobinage de fil conducteur. Ce principe de l'**alternateur** (comparable à la dynamo des éclairages de bicyclettes) fonctionne à partir de diverses sources motrices : force de l'eau (barrages), force de la vapeur d'eau (centrales nucléaires et centrales thermiques à flamme), force du vent (éoliennes), qui vont toutes entraîner la rotation de l'aimant.

Les alternateurs des centrales thermiques (à flamme ou nucléaires) sont entraînés par les turbines à vapeur à 3 000 ou 1500 tr/min, pour une fréquence de 50Hz (respectivement machines bipolaires ou tétrapolaires). Il s'agit de **turboalternateurs**.

Le principe est le même pour les centrales thermiques flamme (charbon, gaz, pétrole) et pour les centrales nucléaires.



Pour les éoliennes, le principe est le même dans des dimensions moindres .



Sources hydrauliques - barrages



On entraîne des turbines différentes en fonction du type de barrage , ici turbine de type Kaplan (basse chute)



ou de type Pelton pour les hautes chutes ci-dessous



4.4 Source solaire thermodynamique :

Cela consiste à utiliser la chaleur issue du rayonnement solaire pour la transformer par exemple en énergie électrique, comme dans une centrale électrique classique (production de vapeur turbinée). Un exemple en est la tour solaire de Séville .

