



Energie et TI : ce qu'il faut savoir

18 Novembre 2022



claude@lemarson.com
<https://www.lemarson.com>

Sommaire

Energie et TI : ce qu'il faut savoir

- ❖ Les termes à connaître... même les plus évidents
- ❖ C'est quoi le courant électrique et pourquoi ne peut-on pas le stocker ?
- ❖ Les énergies "vertes" envisageables : photovoltaïques, éoliennes, marémotrices...
- ❖ Les énergies inégales face à l'effet de serre
- ❖ L'alimentation du "datacenter" de demain : une approche radicalement différente
- ❖ Les réalisations nouvelles et spectaculaires : barrages de grande hauteur, batteries gigantesques
- ❖ Le transport de l'électricité par ondes électromagnétiques : le rêve de Nicola Tesla
- ❖ Le futur des batteries : le lithium-ion encore, électrolyte solide, vanadium, sodium...
- ❖ Place à la folie : utiliser l'espace, annexer le Sahara (!!!), récupérer l'énergie des orages



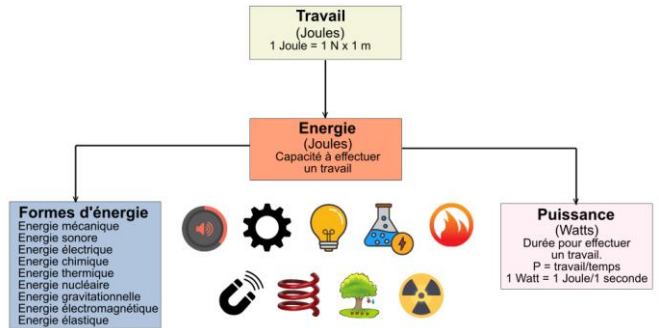
La moyenne des besoins d'alimentation d'un gros datacenter est de 30 MW. Certains peuvent atteindre 100 MW.

Bienvenue

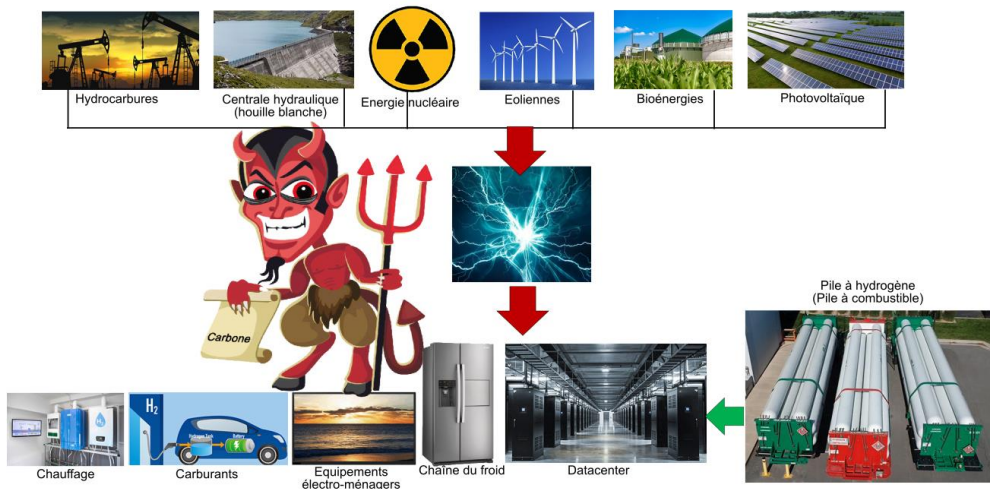
Les besoins énergétiques des « datacenters » étaient évalués à 650 TW/h en 2020, entre 2 et 4 % des besoins de la planète, l'équivalent d'un pays comme la France

L'énergie

- ❖ **L'énergie d'un système est sa capacité à effectuer un certain travail.** Elle apparaît sous différentes formes, calorifique, gravitationnelle, cinétique, potentielle, etc, et s'exprime en Joules.
- ❖ Elle peut être liée à sa position, à une certaine hauteur par rapport au niveau du sol, par exemple, ou être le résultat d'une action, comme celle d'une particule placée dans un champ électrique.
- ❖ Si un objet n'interagit pas avec l'environnement, il peut se transformer, mais son bilan global restera toujours le même. On dit que les actions « endogènes » (internes au système) ne changent pas le bilan énergétique et que seules les actions exogènes (externes au système) peuvent le modifier.



Une bataille qui ne fait que commencer



Les conséquences énergétiques de nos actes



Une recherche sur Google suffit pour chauffer une tasse de thé, soit l'équivalent de la consommation d'une ampoule 60 W pendant 17 sec. Selon l'ADEME, la recherche Internet représente 9,9 Kg CO₂ par internaute et par an ("Web Energy Archive").



Télécharger une "news" équivaut à la consommation d'une lessive (Institut de recherche IZT). 10 g de CO₂ semble plus crédible.



Un personnage virtuel dans "Second Life" consomme chaque année autant qu'un brésilien et dix fois plus qu'un camerounais (!!!)



Une heure de vidéo sur une tablette ou un smartphone, consomme plus d'électricité qu'un réfrigérateur pendant une année.



L'envoi des courriels d'une entreprise de 100 personnes représente chaque année 13,6 tonnes de CO₂, soit 14 A/R Montréal-Paris en avion (ADEME).



Si dans 25 ans, les technologies informatiques sont toujours autant énergivores, Internet consommera autant d'énergie que l'humanité en 2008. (Gerhard Foerheis de l'Université de Dresde).

Des chiffres difficiles à vérifier... mais qui marquent les esprits.



En 2018, 281 milliards de courriels ont été envoyés chaque jour... ce qui équivaut à 410 millions de tonnes de CO₂ (4G de CO₂ par courriel), la même contribution CO₂ que tout le transport aérien en 2017 (IATA)



Un email avec une pièce attachée d'un Mbyte a une empreinte carbone de 15 g CO₂. L'empreinte varie habituellement entre 4 et 50 g de CO₂, selon le nombre et le volume des pièces attachées.



Un spam non ouvert produit 0,3 g de CO₂ et 80 % des courriels ne sont jamais ouverts, soit l'équivalent de la contribution de 3,1 millions de voitures.



Envoyer une photo d'un Mbyte à 10 personnes correspond au parcours énergétique d'une voiture pendant 500 m.



Le streaming représente 60 % des flux de données Internet. La consommation mondiale de streaming vidéo provoque l'émission de 300 millions de tonnes de CO₂ (l'équivalent d'un pays comme l'Espagne).



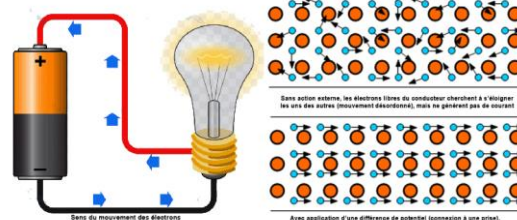
Les objets connectés représentent déjà 39 % des émissions de gaz à effet de serre. Ils contribuent aussi à 75 % de l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables.

Le TI et la gestion des énergies

5 / 21

C'est quoi le courant électrique ...et pourquoi ne peut-on pas le stocker ?

- ❖ Tout le monde connaît, simple rappel...
- ❖ Le courant électrique est caractérisé par un **mouvement de charges**, qui peut se produire dans un conducteur (des électrons), dans un semi-conducteur (des trous ou absence de charges), voire dans l'air. C'est un phénomène dynamique qui disparaît une fois qu'il s'est produit.
- ❖ L'intensité du courant est le nombre d'électrons qui passent par un point donné du conducteur, pendant une durée déterminée.
- ❖ La puissance est la quantité d'énergie reçue ou fournie pendant une unité de temps. Pour un courant continu, elle est le produit de la tension en Volts par l'intensité en Ampères ($P = V \times I$) et s'exprime en Watts.
- ❖ Le Watt correspond à la capacité d'un équipement de fournir 1 Joule (l'énergie) pendant 1 seconde.
- ❖ Ne pas confondre le W ou kW qui est une mesure de puissance et une capacité à produire de l'énergie avec le Wh ou kWh, qui est une mesure d'énergie.
- ❖ 1 kWh correspond à l'énergie consommée ou produite par un appareil d'une puissance de 1 kW pendant 1 heure.

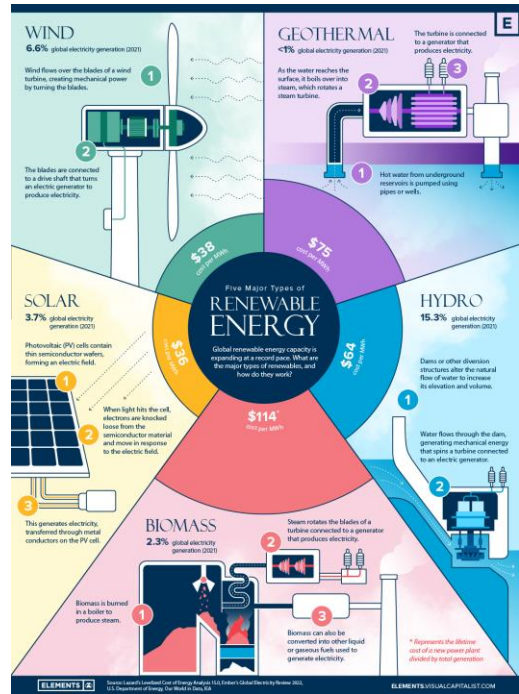


Le TI et la gestion des énergies

6 / 21

Les énergies "vertes" envisageables en support du TI

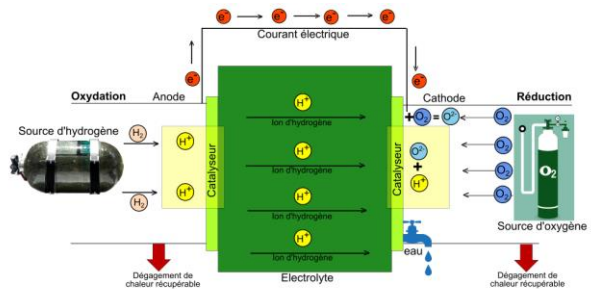
- ❖ Les énergies renouvelables (EnR) bénéficient d'un renouvellement naturel suffisamment rapide pour être considérées comme inépuisables.
- ❖ Énergie photovoltaïque à partir de panneaux photovoltaïques : fondée sur l'effet photoélectrique qui transforme une énergie lumineuse en courant électrique.
- ❖ Énergie produite par les éoliennes : consiste à exploiter l'énergie mécanique des déplacements d'air.
- ❖ Énergie hydraulique : Une réserve d'eau acquiert une énergie potentielle qui se transforme en énergie cinétique grâce à sa chute, utilisée pour alimenter des alternateurs générateurs de courant électrique.
- ❖ Énergie marémotrice : consiste à utiliser l'énergie générée par le mouvement des vagues.
- ❖ Énergie hydrolienne : utilise les courants sous-marins, dont ceux des marées.
- ❖ Biomasse : matière organique d'origine végétale, animale, bactérienne ou fongique (champignons), transformée par des procédés thermiques (pyrolyse, gazéification, combustion directe) ou biochimiques..
- ❖ Énergie géothermique : récupération et conversion de la chaleur contenue dans le sol. A horizon lointain, le magma terrestre peut constituer une source qui règlera tout...



Le TI et la gestion des énergies

L'usage de l'hydrogène

- ❖ S'insère dans la mouvance des piles à combustibles.
- ❖ La pile à combustible ou PAC est un terme générique, qui décrit la production d'électricité à l'issue d'une réaction chimique.
- ❖ La PAC revient au goût du jour, car elle constitue une alternative crédible de fabrication de l'électricité, pour des batteries de secours de datacenters, où elle peuvent remplacer les batteries au diesel (entre autres).
- ❖ La pile à hydrogène est constituée de deux électrodes, une anode et une cathode séparées par un électrolyte liquide ou solide, dont l'objet est de faciliter le passage des ions, mais aussi par deux catalyseurs qui provoquent la production d'électricité.
- ❖ Le "carburant" hydrogène est mis en contact avec le catalyseur, qui peut être du platine, provoque une première réaction, dite d'oxydation, dans laquelle les atomes du carburant sont ionisés, les électrons libérés constituant le fameux courant et aboutissant à la cathode.
- ❖ Les ions d'hydrogène sont canalisés par l'électrolyte et combinés sur la cathode à des ions négatifs d'oxygène, eux-mêmes produits par de l'oxygène combiné aux électrons générés par oxydation.
- ❖ Il en résulte de la chaleur qui peut être récupérée et de la vapeur d'eau qui peut être éliminée. C'est la phase de réduction.



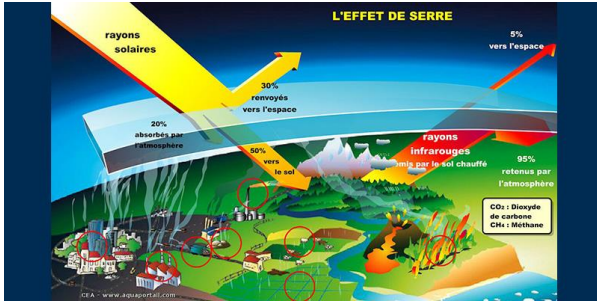
Principe d'une pile à hydrogène

- ❖ Phase d'oxydation : les molécules d'hydrogène (Dihydrogène H₂, constitué de 2 atomes d'hydrogène) génèrent un flot d'électrons via le catalyseur : $2\text{H}_2 \longrightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
- ❖ Les électrons se combinent avec les molécules d'oxygène pour générer des ions négatifs d'oxygène (surplus d'électrons) : $\text{O}_2 + 4\text{e}^- \longrightarrow 2\text{O}^{2-}$ (phase de réduction)
- ❖ Les ions négatifs d'oxygène se combinent avec les ions positifs d'hydrogène véhiculés par l'électrolyte pour fabriquer de la vapeur d'eau qui est éliminée : $4\text{H}^+ + 2\text{O}^{2-} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

- ❖ Pas d'émissions de carbone, ne rejette que de la vapeur d'eau.
- ❖ Des rendements, inférieurs à ceux des batteries classiques, mais susceptibles d'être améliorés (challenge industriel).
- ❖ Supporte des températures élevées et surtout peut être combinée grâce à sa modularité et constituer des ensembles adaptables aux différents besoins.
- ❖ Le coût est un gros inconvénient, qui pourra diminuer, mais restera élevé du fait de la présence de certains éléments propres au catalyseur.

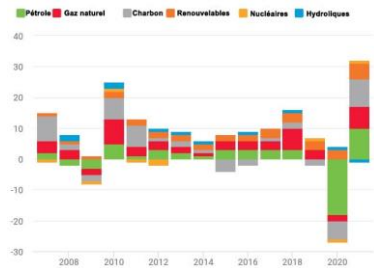
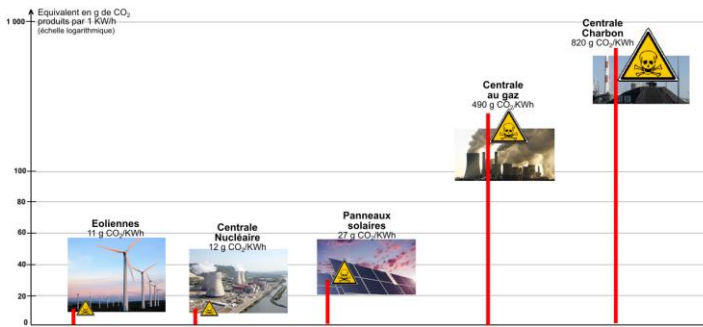
Le TI et la gestion des énergies

Les gaz à effet de serre



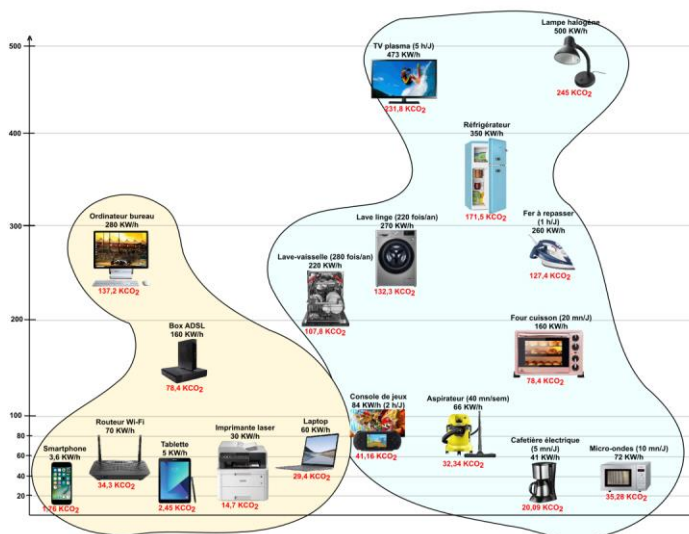
- ❖ L'empreinte carbone est un indice qui mesure notre implication dans les émissions de gaz à effet de serre, ce **phénomène naturel qui permet à la terre de retenir la chaleur du soleil à l'intérieur de l'atmosphère**.
- ❖ Les sols, éclairés par le soleil, restituent la chaleur sous forme d'infrarouges que les gaz à effet de serre retiennent à la surface de la terre. Ce qui contribue au processus de réchauffement de la planète.
- ❖ Les gaz à effet de serre ont donc un effet bénéfique en évitant de nous faire évoluer dans le froid spatial, mais en même temps, ils ont tendance à nous faire « cuire », si l'équilibre est rompu...
- ❖ Les gaz à effet de serre ne se limitent pas au dioxyde de carbone CO₂, mais il est le plus connu, car il est émis par la combustion des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon).
- ❖ Les autres GES : méthane (pouvoir réchauffant 25 fois plus élevé), le protoxyde d'azote (300 fois plus) et les gaz produits par les équipements de la chaîne du froid et les aérosols, l'hexafluorure de soufre, l'hydrofluorocarbure et le perfluorocarbure.

Les énergies inégales face à l'effet de serre



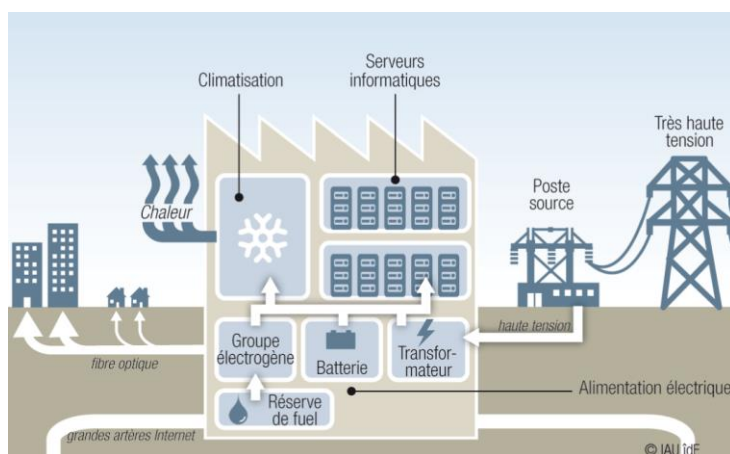
- ❖ L'empreinte carbone mesure l'impact d'une activité ou d'un produit sur l'environnement et plus précisément les émissions de gaz à effet de serre.
- ❖ Exprimé habituellement en équivalent dioxyde de carbone. Combien de CO₂ retiendrait la même quantité de rayonnement solaire et contribuerait ainsi au réchauffement de la planète.

Contribution du TI et des produits courants



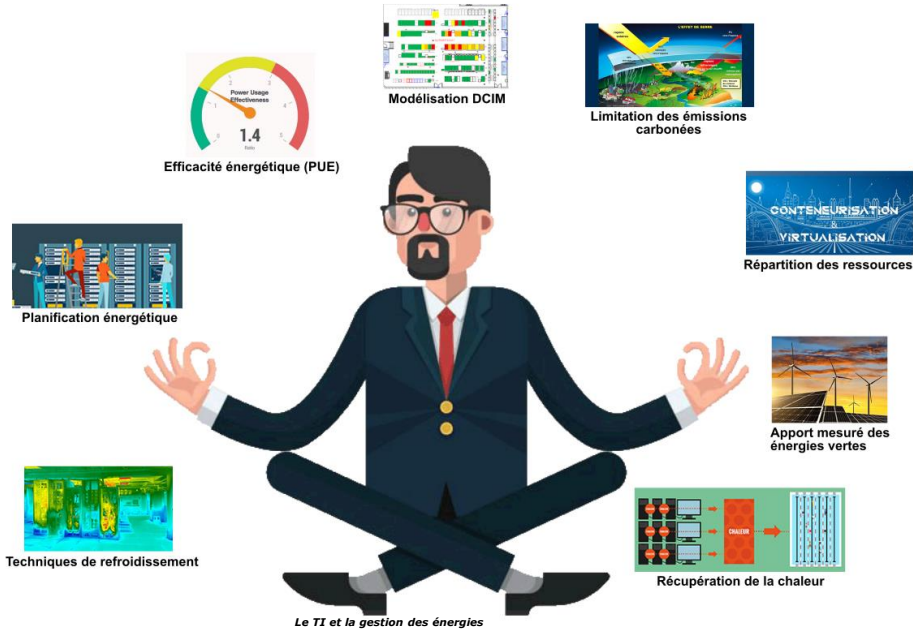
Le TI et la gestion des énergies

L'alimentation du "datacenter" de demain une approche radicalement différente



Le TI et la gestion des énergies

Les leviers de gestion



L'efficacité des datacenters (une affaire d'allées)



L'efficacité des datacenters

- ❖ Le PUE : Power Usage Effectiveness, mesure l'efficacité du datacenter en termes énergétiques.
- ❖ Avec un PUE de 3, il n'y a que le tiers de l'énergie électrique fournie en entrée qui est effectivement consommée par les charges informatiques.
- ❖ Les européens préfèrent (parfois) le DCEM ("pour Data Centre Energy Management").
- ❖ Le PUE permet de séparer la consommation électrique des serveurs et des baies de stockage, de la climatisation, ventilation, alimentation des connexions réseaux, éclairage...
- ❖ Se situe généralement entre 1,5 et 2,5 : un tel centre consomme plus en dehors des équipements informatiques que pour les équipements eux-mêmes.
- ❖ Google a atteint 1,13 et Facebook 1,03 sur son datacenter proche du cercle arctique.
- ❖ Le DCIE : Datacenter Efficiency est l'inverse du PUE.

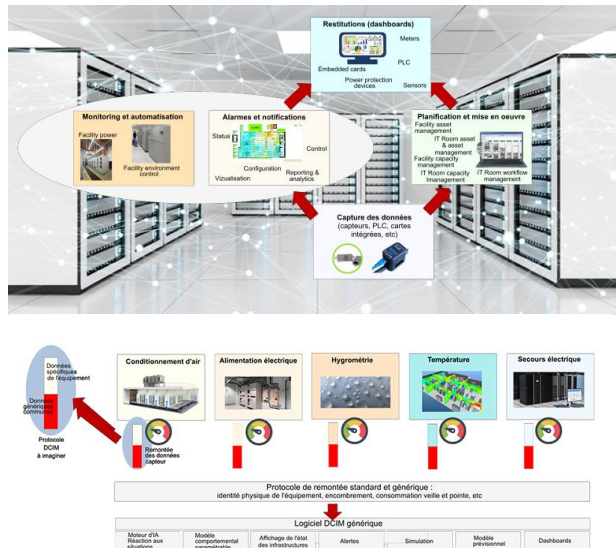


PUE	DCiE	Niveau d'efficacité
1,2	83 %	Très efficace
1,5	67 %	Efficace
2	50 %	Moyen
2,5	40 %	Inefficace
3	33 %	Très inefficace

Répartition des datacenters
12 % entre 1 et 1,2
47 % entre 1,2 et 1,5
32 % entre 1,5 et 2
2 % entre 2 et 2,5

↑
Efficacité (d'après Uptime Institute)

DCIM : la modélisation du datacenter



Batteries : le lithium-ion se maintient

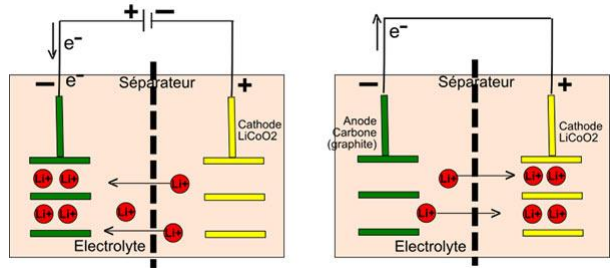
❖ La technologie dominante est encore le lithium-ion.

❖ Avantages

- ❖ Pas d'effet mémoire : les performances ne sont pas altérées si elles ne sont pas déchargées totalement. Contrairement aux batteries Nickel-Cadmium.
- ❖ Une énergie spécifique entre 100 et 250 Wh/kg.
- ❖ Un très bon rapport énergie/encombrement, grâce aux propriétés physiques du Lithium et un taux d'auto déchargement très faible : de l'ordre de 5 à 10 % par mois.
- ❖ Un cycle de vie élevé, pour une profondeur de déchargement de 80 %, entre 500 et 2000 cycles.

❖ Inconvénients

- ❖ Il vaut mieux les recharger très souvent et ne pas attendre que la batterie soit à plat : c'est la « profondeur de décharge ».
- ❖ Une durée de vie assez courte (2 à 3 ans) : elles s'usent même si on ne s'en sert pas.
- ❖ Des courants de charge et de décharge admissibles, plus faibles qu'avec les technologies concurrentes.
- ❖ Un certain danger en cas de fuite avec un électrolyte liquide.
- ❖ Dégradation au-delà de 80 °C, ce qui peut se traduire par une réaction brutale, y compris une explosion, surtout pendant la phase de charge



Le futur des batteries

❖ Remplacement de certains éléments d'une batterie Lithium-ion, pour la rendre plus performante, mais sans véritable remise en cause.

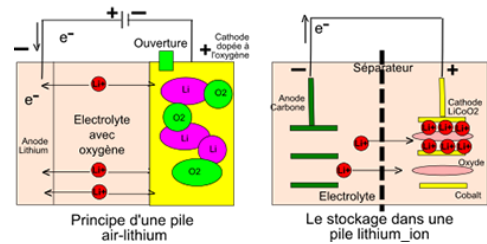
- ❖ On peut remplacer le carbone de l'anode par du silicium, ce qui augmente la capacité de stockage. Avec les inconvénients d'augmenter le volume de la batterie, jusqu'à 300 % et de provoquer, avec le temps, des petites craquelures sur l'anode, qui la rendent inopérante.
- ❖ On peut enrober le silicium dans des feuilles de graphène.
- ❖ On peut remplacer le graphite par un empilement de feuilles de graphène, pour faciliter l'insertion des ions de lithium +.

❖ Les batteries lithium – air

- ❖ Font partie des batteries métal-air, performantes en théorie et peu coûteuses, mais instables, dangereuses et une durée de vie très faible, de quelques dizaines de cycles charge/décharge seulement.
- ❖ C'est le même système que lithium-ion, mais l'oxygène a pris la place des éléments actifs de la cathode.
- ❖ Le principal inconvénient est que le peroxyde de lithium se dépose sur la cathode, une simple membrane fine et poreuse de carbone (en général), qu'elle encrasse rapidement et empêche les autres réactions chimiques du processus d'oxydo-réduction de s'exécuter normalement.
- ❖ Autre inconvénient, le peroxyde de lithium est très agressif pour les autres matériaux (désintégration rapide de la cathode) et entraîne diverses réactions indésirables, qui détériorent la batterie et limitent sa durée de vie.
- ❖ Le lithium-air sera sans doute LA technologie exploitée dans les batteries des futures voitures électriques.

❖ Les batteries sodium-ion

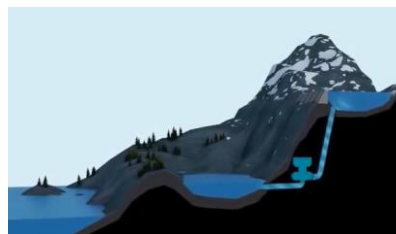
- ❖ Les ions sodium remplacent le lithium, avec des compositions chimiques particulières pour les électrodes.
- ❖ Le principal avantage du sodium est sa disponibilité (chlorure de sodium, ClNa).



L'objectif est de produire des batteries d'une durée de vie suffisante (au-dessus de 5 ans), avec une énergie spécifique de plus de 500 Wh/kg, pour un encombrement compatible avec nos smartphones et tablettes et qui supporte un nombre de chargements supérieur à 1000-1500. Batteries qui ne doivent être, ni polluantes, ni dangereuses.

Les réalisations nouvelles et spectaculaires

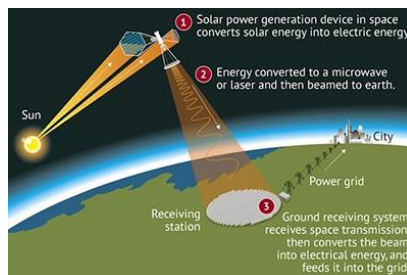
- ❖ Des batteries gigantesques
 - ❖ Tesla a construit une batterie géante en Australie et prévoit de récidiver au Texas : 100 MW, pour fournir 1 h d'électricité en été à 20 000 foyers.
- ❖ Des barrages de haute chute : transformation de l'énergie potentielle en énergie cinétique.
 - ❖ Simule une cascade à grande hauteur (plus de 300 m)
 - ❖ Constitué d'un barrage avec une réserve d'eau en hauteur, des conduites forcées et des turbines.
 - ❖ Ce qui compte c'est la hauteur d'eau et le débit d'eau.
 - ❖ La pression exercée par l'eau qui chute augmente d'un bar tous les 10 m.
 - ❖ Ce type de barrage est construit dans les hautes montagnes : dernier exemple qui a nécessité 14 ans de travaux dans les Alpes suisses.
 - ❖ La "Nant De Drance Hydropower Plant" : 900 MW et un potentiel de 20 000 MW.



Le barrage de haute chute " Nant De Drance Hydropower Plant" fournit 1 MWh pour 110 000 \$, contre 600 000 \$ à la batterie géante de Tesla en Australie.

Place à la folie

- ❖ Ce n'est pas ce qui manque dans ce domaine
- ❖ Transmission de l'énergie par ondes électromagnétiques
 - ❖ La Chine envisage de lancer des satellites, qui seront chargés de récupérer l'énergie émise par le soleil, de la transformer en électricité et de la renvoyer au sol sur une station de réception, par laser ou onde.
 - ❖ 2028 : premier prototype miniature.
 - ❖ Faisabilité démontrée aussi par l'US Navy, qui a transmis 1,6 kW par km par micro-onde.
- ❖ Une très intéressante approche (Will Lockett) :
 - ❖ Pour alimenter la totalité de la planète, il faudrait 51,4 milliards de panneaux solaires à 350 W, qui nécessitent 300 000 km² environ de surface au sol.
 - ❖ Il faut choisir une zone géographique ensoleillée.
 - ❖ Le Sahara est une bonne solution qu'il faudrait annexer..
 - ❖ Problème de coût aussi : la ferme solaire saharienne coûterait 514 000 milliards \$, soit 23 fois ce que produit l'économie américaine, de quoi décourager les meilleures volontés...
- ❖ Récupérer l'énergie des éclairs
 - ❖ La foudre possède une puissance instantanée de plusieurs milliers de milliards de W, mais il est compliqué de la récupérer, car on ne sait pas la stocker.
 - ❖ Ne présente pas beaucoup d'intérêt, car si on additionne tous les impacts d'un pays comme la France, on obtient 100 MW, soit 10 % de la puissance d'une centrale nucléaire moyenne. Il vaut mieux oublier...
- ❖ Travaux d'IBM pour construire une batterie sans métaux lourds (Cobalt, Nickel...), qui serait fondée sur les ressources de l'eau de mer : coût très faible, rechargement rapide (5 mn), densité énergétique très élevée (10 kW/litre), durée très longue de conservation, faible inflammabilité... On attend pour voir.





Energie et TI : ce qu'il faut savoir

18 Novembre 2022

Nos prochains webinaires

- 25 Novembre 2022 : **Vers l'authentification invisible et permanente**
- 2 Décembre 2022 : **Les nouvelles protections périmétriques du TI**
- 9 Décembre 2022 : **Kubernetes, le Windows des conteneurs**
- 23 Décembre 2022 : **La programmation du comportement des réseaux**



claudio@lemarson.com
<https://www.lemarson.com>