



Lettre d'information N°90 – Février 2021

Le stockage de l'électricité

Et notamment ce qu'il est convenu d'appeler *l'électricité non fossile*.

Soit tous les moyens de produire de l'électricité sans faire appel à une énergie primaire fossile (nucléaire, pétrole, gaz naturel et de schiste, charbon). Que ce soit à l'aide du vent, du soleil, de l'eau ou de la biomasse, cette *électricité verte* est souvent nommée ENR pour regrouper les énergies renouvelables (solaire, éolien et hydraulique notamment). Etant souvent intermittentes, ces énergies posent la question du décalage entre le moment de leur production et de celui de la consommation, en un mot leur stockage.

Comme le rappelle le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), la demande d'énergie en France, en particulier pour l'électricité, est variable au cours de l'année mais aussi de la journée. Les périodes de forte consommation, par exemple autour de 19h30 en hiver, sont actuellement amorties par la mise en route de centrales thermiques (gaz et/ou fioul), par l'utilisation de systèmes de stockage hydraulique (STEP – Système de Transfert d'Énergie par Pompage), de déversement de barrages hydroélectriques et par l'importation d'électricité produite par nos voisins, sans oublier – mais c'est de plus en plus anecdotique – l'effacement de certains grands consommateurs industriels.

Le développement des technologies de stockage a pour but, dans un premier temps de diminuer la production de Co² par les centrales thermiques et, dans un deuxième temps, de limiter les importations d'électricité et de sources fossiles pour la produire, ce qui est donc utile pour notre balance commerciale et notre indépendance énergétique.

Le stockage d'énergie est essentiel au développement des ENR, telles que le solaire ou l'éolien, qui dépendent des conditions météorologiques et particulièrement du cycle jour/nuit pour le solaire. L'énergie ainsi stockée en journée peut être redistribuée en soirée sur les réseaux de distribution lorsque la demande est plus importante. Le stockage contribue également à garantir la qualité du réseau électrique en limitant les fluctuations engendrées par l'intermittence de production des ENR.

Enfin, le stockage stationnaire permet de répondre aux besoins des sites isolés difficilement alimentés par les réseaux de distribution (îles, montagnes, etc ...).

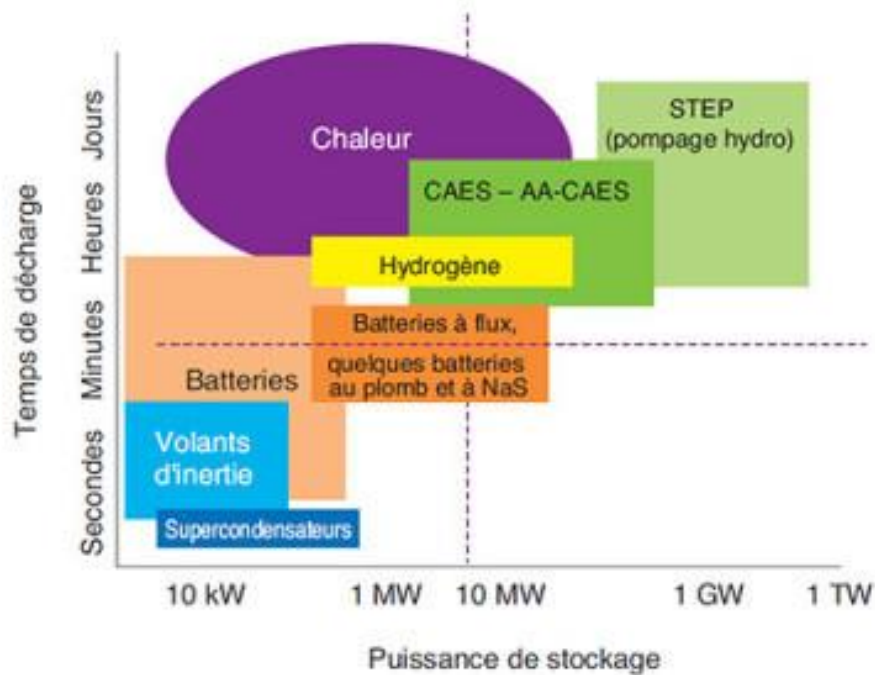
Quelles solutions de stockage ?

Selon l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie (ADEME - lire en note 1) les solutions de stockage d'énergie les plus connues (lire en note 2) sont :

1. mécanique : barrage hydroélectrique, station de transfert d'énergie par pompage (STEP), stockage d'énergie par air comprimé, volants d'inertie, etc.
2. électrochimique : piles, batteries, vecteur hydrogène,
3. électromagnétique : bobines supraconductrices, supercondensateurs,
4. thermique : chaleur latente ou sensible,
5. et thermochimique.



Les différentes technologies de stockage en fonction de leur puissance et du temps de décharge (autonomie)



Source : IFPEN d'après diverses sources

Nous allons concentrer notre propos sur le stockage électrochimique par batteries.

Quelles sont les qualités souhaitées d'une batterie de stockage ?

- une énergie massique élevée (= autonomie),
- un temps de charge réduit,
- une puissance de décharge linéaire,
- une durabilité optimale (nombre de cycles de charge/décharge plus élevé),
- un impact sur l'environnement réduit et supportable (de la construction à l'élimination),
- un coût global modéré, adapté à son usage.

On en sommes-nous du stockage par batteries ?

Dans le contexte actuel, les technologies principales sont :

- le plomb-acide, actuellement le plus utilisé pour les batteries de démarrage des automobiles et les batteries stationnaires (onduleurs, etc) ;
- les technologies lithium-ion (Li-ion) pour les applications nomades (smartphones, informatique nomade, outillage électroportatif, etc) et les véhicules électriques ;
- le nickel-cadmium (Ni-Cd) : applications stationnaires et ferroviaires ;
- le nickel-métal-hydrure (Ni-MH) : véhicules hybrides, applications solaires et stationnaires.

D'autres technologies arrivent, que ce soit au stade de la recherche ou déjà commercialisées à faible échelle. Parmi les pistes privilégiées dans un proche avenir, nous pouvons en noter quelques unes, telles que :



1 - Batterie LTPS

Comme le rappelle le site acti-VE.org (*lire en note 3*) une équipe internationale de chercheurs universitaires aurait découvert un nouveau cristal dont la structure permet une mobilité des ions lithium plus élevée que celle de tous les électrolytes pour batteries étudiés jusqu'à présent. Son nom : le triphosphate de lithium-titane ou LTPS.

Pour le professeur Geoffroy HAUTIER de l'Université de Louvain (Belgique), membre de l'équipe de recherche ; « *ce nouveau matériau est capable d'augmenter la vitesse de charge et décharge d'une batterie, à une vitesse encore jamais observée* ».

Autre atout de taille : la mobilité des ions dans ce cristal reste élevée même à très basse température (jusqu'à -253°C) ce qui laisse entrevoir des charges rapides même en conditions extrêmes, notamment en matière de technologies spatiales embarquées.

Les scientifiques rappellent toutefois qu'il ne faut pas espérer l'arrivée sur le marché de batteries utilisant cette technologie avant plusieurs années. De nombreuses étapes doivent encore être franchies avant d'entamer leur industrialisation.

2 – Batterie Silicon-Air

Ce sont des piles dont les électrodes sont en silicium et majoritairement constituées d'air. D'après le site Science Daily (*lire en note 4*), elles stockeraient cinq fois plus de courant que les batteries lithium-ion classiques. En outre, elles contiennent du carbone, un peu de nickel, du Téflon, de l'hydroxyde de potassium et de l'eau, des matières premières extrêmement bon marché, qui sont également disponibles en abondance et dont le cycle de vie est maîtrisé.

Ce type de batterie serait ainsi capable d'atteindre un temps de fonctionnement de plus de 1.100 heures, soit près de 46 jours d'affilée. Hermann TEMPEL de l'Institute of Energy and Climate Research (*lire en note 5*) annonce : "*Jusqu'à ce que le silicium soit complètement épuisé. La batterie peut ensuite être rechargée en échangeant l'anode, c'est-à-dire mécaniquement.*"

Cette technologie serait bientôt disponible dans les véhicules électriques, les ordinateurs portables ou les smartphones.

3 - Batterie GRABAT

C'est un type de batterie révolutionnaire au graphène.

- elle est très sécuritaire par rapport aux incendies,
- elle peut se recharger en moins d'une minute,
- elle dure quatre fois plus longtemps qu'une batterie standard Li-ion,
- elle peut stocker jusqu'à 1 kWh/kg (soit 4 à 8 fois plus qu'une batterie Li-ion),
- son encombrement est réduit (3 à 5 fois plus petite qu'une batterie Li-ion).

Sa date de commercialisation n'est pas encore connue.

4 - Batterie sodium-ion

Ce type de batterie est annoncé comme étant non combustible, doté d'une plus grande durée de vie, disposant d'une densité énergétique trois fois plus importante qu'une batterie Li-ion, sans compter une capacité de recharge beaucoup plus rapide (*lire en note 6*).



Alors que dans une batterie lithium-ion classique, un liquide est utilisé entre l'anode et la cathode pour le déplacement des ions, il est cette fois remplacé par du verre. Ainsi les électrolytes en verre permettent de substituer le lithium par du sodium à bas coût. Le sodium est extrait de l'eau de mer disponible en très grande quantité. Après 450 cycles de charge-décharge, cette batterie a démontré qu'elle conservait une capacité de rétention d'énergie de 82%. Reste maintenant à savoir si et quand cette technologie de batterie au sodium pourra sortir des laboratoires de recherche pour des usages réclamant autonomie et temps de recharge réduit.

5 - Batterie solide métal

Ce type de batterie intéresse particulièrement les constructeurs automobiles. A l'inverse des batteries actuelles, qui font appel à un électrolyte liquide, les batteries solides reposent sur un composant solide comme un polymère ou de la céramique. Jugées plus sûres, plus durables et plus faciles à intégrer, ces batteries solides pourraient à terme succéder aux batteries actuellement utilisées. En France, Bolloré s'est lancé il y a plusieurs années avec la batterie Lithium Métal Polymère (LMP). Embarquée à bord de ses Bluecar (*lire en note 7*), la batterie LMP souffre d'une contrainte importante : elle doit être maintenue à une température de 60°C, ce qui impose de la recharger en permanence lorsque le véhicule qu'elle anime n'est pas en circulation. Sans quoi elle se décharge. Envisageable dans un système d'autopartage avec des bornes où la voiture reste branchée les trois quarts du temps, mais inconcevable pour la voiture de monsieur Tout-le-Monde ! Par contre, c'est une technologie qui pourrait s'appliquer à l'habitat ou à d'autres usages non mobiles (batteries stationnaires).

6 - Batterie multicouches EMBATT

Le concept EMBATT repose sur une plaque bipolaire faite d'une feuille de métal recouverte sur ses deux faces d'un mélange de céramique, de polymère et de matériaux conducteurs (*lire en note 8*). Les cellules de batteries peuvent ainsi être empilées à la manière d'un millefeuille. La batterie EMBATT permettrait dès maintenant une autonomie de plus de 1.000 km pour une citadine électrique. Le Fraunhofer Institute (*lire en note 9*) et ses partenaires industriels ont entamé les premiers tests l'an dernier, la date de commercialisation n'est pas connue pour le moment.

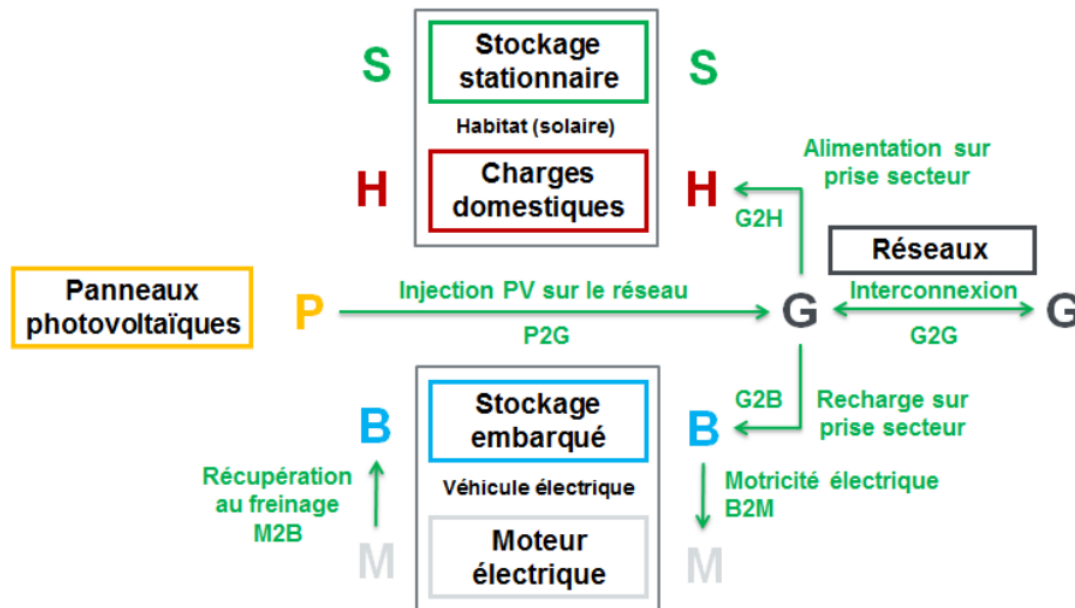
7 – Batterie LFP (Lithium-Fer-Phosphate)

Ce type de batterie a été mis au point par des chercheurs de l'Institut de recherche en électricité du Québec (IREQ). Déjà commercialisée, son constructeur, Victron Energy (*lire en note 10*) annonce qu'il n'est pas nécessaire de charger complètement une batterie LFP. La durée de vie s'améliore même légèrement en cas de charge partielle au lieu d'une charge complète. Cela représente un avantage majeur de la batterie LFP par rapport à la batterie au plomb.

Les batteries stationnaires dans l'habitat

Un nombre croissant de ménages allemands installent des batteries pour stocker l'énergie solaire qu'ils produisent avec les panneaux photovoltaïques installés sur leur maison. Alors que les prix des systèmes de stockage baissent, ceux-ci adoptent une vision « verte » : des panneaux photovoltaïques sur le toit, une voiture électrique dans le garage et une batterie au sous-sol (*lire en note 11*).

Principe de fonctionnement : par beau temps, l'installation solaire couvre l'ensemble des consommations électriques du ménage et recharge également la batterie du véhicule, si celui-ci est raccordé. Ensuite, si la quantité d'énergie générée par le toit est suffisante, elle alimente la batterie de stockage jusqu'à sa recharge complète. Quand les deux batteries sont entièrement chargées (véhicule + stockage), et s'il subsiste une production excédentaire, un système automatique l'injecte sur le réseau. Le ménage est alors rémunéré par le gestionnaire du réseau pour l'électricité ainsi fournie.



© Camile Grosjean. Université Pascal Paoli, 2012

A ce jour grâce à une niche fiscale adaptée, une installation photovoltaïque sur deux vendue en Allemagne dans l'habitat est associée à un stockage par batterie.

Sur ce constat – et sa possible duplication aux voisins européens de l'Allemagne - le cabinet de conseil McKinsey prédit que le coût des systèmes de stockage d'électricité baissera de 50 à 70% d'ici 2025 « grâce aux progrès en matière de conception, aux économies d'échelle et à la rationalisation des processus industriels ». L'utilisation en seconde vie des batteries utilisées actuellement, notamment celles des véhicules dont les performances ne sont plus adaptées à cet usage, fera encore chuter les coûts.

Au vu de l'envol du marché en 2020, on peut désormais être assuré du contexte favorable d'une possibilité de développement à court terme de la filière du véhicule électrique et de son impact en besoins énergétiques de recharge des véhicules électriques en termes de puissance appelée additionnelle prélevée sur le réseau. L'augmentation du taux de pénétration dans le parc automobile national et de l'autonomie des véhicules électriques induit une augmentation du besoin énergétique global de recharge qui se traduit par un accroissement de la pointe du soir. Pour éviter de générer des pics de puissance appelée encore plus hauts et étroits à ces moments critiques, le mode de recharge à privilégier est la recharge lente (si possible à chaque stationnement du véhicule) et l'appel au stockage stationnaire pour ne pas trop tirer sur le réseau.

Conclusion

Selon l'ADEME, des scénarios de mix énergétique avec une part de production intermittente plus importante par l'augmentation de la part des ENR à des coûts compétitifs, comme ce devrait être le cas à l'horizon 2050, seront favorisés si des projets de R&D ou de démonstration visant à développer les solutions de stockage stationnaire d'électricité sont susceptibles de permettre, après 2030, d'écarter les pointes de puissance appelée citées ci-dessus, tant en production qu'en consommation.

En cela, les DOM-TOM représentent un terrain d'expérimentation extrêmement propice au développement du stockage stationnaire d'électricité pour notre nation. Même si le gisement français reste limité (200 à 400 MW), les projets étudiés actuellement sont rentables pour les collectivités et les perspectives de déploiement au



niveau mondial sont prometteuses, en considérant non seulement les îles mais également les régions dont les réseaux électriques sont mal ou peu interconnectés.

Bien qu'aujourd'hui associé à un système de production électrique nucléaire vertueux au regard de son impact carbone (mais de plus en plus cher – lire en note 12), un développement massif des ENR électriques nécessitant du stockage impliquera des coûts supplémentaires et des impacts sur les ressources naturelles et l'environnement (lire en note 13) qui devront être intégrés dans le coût global à moyen terme (2030) et à long terme (2050 et au-delà) d'un mix électrique à fort taux d'électricité verte.

Le développement de filières de stockage amène, comme toute filière industrielle, un travail sur le modèle économique et la minimisation des impacts environnementaux et sociétaux. En Europe, les perspectives de création de filières de stockage, avec notamment la création d'un Airbus des batteries (sous l'impulsion de la France, de l'Allemagne et la Banque européenne d'investissement – lire en note 14), devront devenir une alternative durable et performante, capable de rivaliser très prochainement avec les filières concurrentes asiatiques (Chine et Corée) et américaines.

Le marché de renouvellement des parcs immobiliers tertiaires et de celui de l'Etat pourrait bien être un levier de développement significatif de ladite filière.

Si cette note d'information succincte éveille des attentes ou des questions au sein de votre collectivité, organisation ou de votre entreprise, DCR Consultants se tient à votre disposition pour accompagner votre réflexion vers ce que le marché attend et ce qui pourrait vous être profitable. Cordiales salutations.



Denis CHAMBRIER

Consultant Senior

denischambrier@dcr-consultants.com

Mobile : 06.7777.1883

Note 1 : [Étude sur le potentiel du stockage d'énergies \(ademe.fr\)](http://ademe.fr)

Note 2 : [Cours de stockage de l'énergie pour les Nuls](#)

Note 3 : acti-ve.org

Note 4 : [Science Daily](#)

Note 5 : [IEK](#)

Note 6 : [Sciences et Avenir](#)

Note 7 : www.bluecar.fr

Note 8 : [EMBATT](#)

Note 9 : Fraunhofer.de

Note 10 : Victronenergy.fr

Note 11 : [Usages de batteries lithium-ion comme fonction de stockage de l'électricité à la convergence des besoins énergétiques de l'habitat solaire et du transport électrique \(archives-ouvertes.fr\)](#)

Note 12 : *Grand carénage* du parc actuels, surcoûts de l'EPR de Flammanville, de l'EPR d'Hinkley Point en Angleterre, pénalités de l'EPR de Finlande, recapitalisation d'Areva, dérive amorcée du coût de Cigéo, etc ... soit plusieurs dizaines de milliards d'euros déjà dépensés et à engager dans les années qui viennent.

Note 13 : L'extraction de terres rares et de matériaux critiques est polluante et consommatrice d'eau. Par ailleurs, les batteries contiennent généralement une quantité non négligeable de lithium et leurs céramiques utilisent typiquement du lanthane ou du germanium qui sont des matériaux rares.

Note 14 : [Airbus des batteries](#)