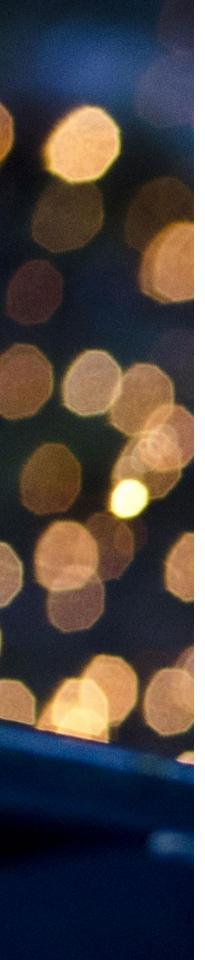


Batteries et supercondensateurs

LES MUTATIONS DU STOCKAGE DE L'ÉNERGIE POUR L'INDUSTRIE

Un atelier animé par Jean-Marie Tarascon, professeur au Collège de France et directeur du RS2E 16 juin 2016



Découvrez les principaux enseignements de l'atelier sur le stockage de l'énergie organisé au Collège de France le 16 juin 2016 avec :

- Jean-Marie Tarascon, professeur au Collège de France, directeur du RS2E;
- Sébastien Patoux, responsable du Service des Technologies Batteries au CEA-Liten;
- Patrice Simon, professeur à l'université de Toulouse, directeur-adjoint du RS2E;
- Yann Laot, Energy Storage & Smart Grid Manager TOTAL New Energies;
- Stéphane Lascaud, directeur général de EDF Store & Forecast.

Sommaire

- 1. <u>Face aux enjeux durables, les perspectives inédites du stockage</u>
- 2. <u>Les défis technologiques des nouvelles générations de batteries</u>
- 3 <u>Puissance et récupération d'énergie, les promesses des</u> supercondensateurs
- 4 Photovoltaïque + stockage : les prospectives des solutions couplées
- 5. <u>La valeur ajoutée des batteries sur les réseaux</u> <u>électriques</u>





Face aux enjeux durables, les perspectives inédites du stockage



Jean-Marie Tarascon, professeur au Collège de France et directeur du RS2E, présente l'évolution des batteries et les grands tournants qui se dessinent déjà en matière de stockage d'énergie.

FOISONNEMENT TECHNOLOGIQUE ET ÉQUATION ÉCONOMIQUE

De toute part, on assiste à un foisonnement technologique. Dans le domaine des équipements portables ou des véhicules électriques, les technologies se concentrent sur les composés à base de lithium qui contiennent également du nickel, du manganèse et du cobalt (NMC).

Levier supplémentaire, les prix des batteries diminuent alors même que les densités énergétiques augmentent. « Le coût des packs batteries va passer de 350 €/kWh à moins de 150 €/kWh en 2025 », rappelle Jean-Marie Tarascon. Au même horizon, la densité volumétrique actuelle de 500 Wh/litre devrait atteindre 700 Wh/litre.

UN MARCHÉ EN PLEINE CROISSANCE

- 108 MW d'énergies renouvelables installées au 3^e trimestre 2015 vs. 38 MW au 3^e trimestre en 2014 en France.
- Stockage des ENR: marché de 200 millions de \$ en 2015 (x3 d'ici 2020).
- Investissements industriels forts aux US et Asie: prix du pack batterie Li-ion -15 %/an entre 2007 et 2015.
- 325 000 précommandes de la dernière Tesla en une semaine.





Face aux enjeux durables, les perspectives inédites du stockage

VERS DES MATÉRIAUX PLUS DURABLES

Le développement des batteries s'intègre de plus en plus dans un contexte de développement durable. « Nos recherches se concentrent sur des matériaux abondants, des solutions moins énergivores utilisant des méthodes de chimie douces ou de biominéralisation qui évitent la montée à haute température. Il existe aussi l'alternative végétale aux solutions minérales, comme des électrodes conçues à partir de biomasse. »

Au-delà du lithium-ion couramment utilisé, de nombreuses technologies sont en développement. Dérivé du lithium-on, <u>la technologie sodium-ion</u> développée conjointement par le CEA et le RS2E présente l'avantage d'un matériau beaucoup plus abondant et donc moins cher à produire. Les performances de puissance obtenues laissent penser qu'elle devrait être commercialisée d'ici les 5 ou 10 prochaines années.

D'autres technologies sont à l'étude mais elles imposent un temps de maturation plus ou moins long. Le **redox flow**, par exemple, devrait nécessiter moins de 10 ans, alors que la technologie **lithium air** imposera plusieurs dizaines d'années. Quels que soient les composants, la recherche s'oriente aussi vers des **systèmes aqueux** à bas coût à base de sel de sodium. Malgré l'intérêt en termes de développement durable, pour l'instant, le rapport coût-performance n'est pas encore suffisant pour détrôner les systèmes non aqueux actuels.

TESLA OUVRE DE NOUVEAUX HORIZONS

Mais c'est sous l'impulsion d'Elon Musk, obnubilé par le couple coût-développement durable, que Tesla prétend réduire le prix de la batterie autour de 125 €/kWh dès 2020, date à laquelle son usine Gigafactory, alimentée par des panneaux solaires, produira plus de batteries que toutes les usines n'en fabriquent dans le monde aujourd'hui.

QUEL ESPOIR POUR LA TECHNOLOGIE REDOX FLOW?

Présentée comme une technologie prometteuse pour le stockage de masse, la batterie à flux circulant soulève néanmoins des questions. Yann Laot souligne que la partie qui stocke l'énergie est peu coûteuse mais la partie conversion reste chère. Cette technologie peut devenir intéressante lorsqu'on cherche des durées de stockage longues. L'adéquation par rapport au marché n'est pas encore au rendez-vous.

SECONDE VIE DES BATTERIES, UN TOURNANT RADICAL

Jusqu'à présent, la réutilisation des batteries électriques des véhicules dans applications destinées au réseau électrique semblait utopique. Pourtant, pour Jean-Marie Tarascon, le processus est déjà en marche car, de plus en plus, les batteries vont avoir un degré de traçabilité important qui va leur permettre une seconde vie. « Au Japon, les batteries sont reliées à un système de tracking « GPS » et tout le BMS (Battery Management System) est connecté, ce qui d'accumuler permet une quantité gigantesque de données. L'enjeu : réussir à exploiter ce big data pour identifier les modes défaillants, augmenter la longévité des batteries et leur donner une seconde vie sachant que la performance dépendra de l'utilisation initiale. »





Face aux enjeux durables, les perspectives inédites du stockage

UNE DEUXIÈME VIE, MAIS ENSUITE?

Dans la salle, un participant s'interroge sur le recyclage des batteries en fin de vie. Jean-Marie-Tarascon précise : « Cette dimension recyclage prend de plus en plus d'importance. Pour les technologies lithium, il existe des procédés hydrométallurgiques pour les recycler à basse température. Certaines entreprises comme Umicore récupèrent le cobalt. »

Mais la principale difficulté reste la collecte de batteries. Le développement du véhicule électrique pourrait contribuer à structurer une filière. « C'est certain, le recyclage, c'est le renouveau de la chimie dans le futur. Mais c'est aussi la raison pour laquelle les recherches se déplacent vers des matériaux abondants comme le sodium. »

QUI VA PAYER LE COÛT DU RECYCLAGE?

Yann Laot le rappelle : « Recycler va dans le sens de l'histoire mais organiser un circuit de collecte doit reposer sur un équilibre économique. Actuellement, le prix du lithium est à 4 \$/kg, ce qui ne facilite pas la mise en place d'une filière. »

DEMAIN, DES BATTERIES COMMUNICANTES

Les batteries de demain pourraient bien être équipées de capteurs, de fibres optiques afin de recueillir des informations internes qui serviraient à établir leur état de santé.

Il deviendra alors possible de connaître l'usure, les points de fragilité. « Cette expertise suppose d'injecter de l'intelligence dans ces analyses, le tout dans une approche systémique qui associera recherche et entreprises.

Les métiers d'électrochimistes évoluent radicalement, nous imposant d'élargir la recherche au-delà du périmètre de départ et de les fédérer dans le cadre de partenariats.

De nouveaux modèles économiques émergent et autant de possibilités de business à la clé. »

« De nouveaux modèles économiques émergent et autant de possibilités de business à la clé. »

Voir l'interview vidéo de Jean-Marie Tarascon



Télécharger la présentation de Jean-Marie Tarascon







Les défis technologiques des nouvelles générations de batteries



Sébastien Patoux, responsable du Service des Technologies Batteries au CEA-Liten, rappelle les grandes étapes pour passer du concept des batteries à l'application et les contraintes à intégrer en amont pour trouver des modèles performants.

Comment passer de l'idée à l'application ? C'est une des missions du CEA-Liten qui établit des interactions avec ses partenaires sur l'ensemble de la chaîne de valeur. Face à un marché mondial des batteries de plus en plus important, la recherche se concentre pour trouver des applications permettant à l'industrie de booster la durée de vie de la batterie, d'améliorer sa fiabilité et de diminuer ses coûts.

COMMENT S'ORGANISE LA CHAÎNE DE VALEUR?

À la base, la batterie se compose d'électrodes positives ou négatives et d'électrolyte qui forment un système électrochimique scellé dans un accumulateur. Cet accumulateur vient s'intégrer dans des modules ou des packs dans lesquels on peut ajouter des composants électroniques et de l'intelligence BMS (Battery Management System) pour contrôler et améliorer la performance des batteries par une communication entre la batterie et l'objet.

À LA RECHERCHE DE LA « PREUVE DE CONCEPT »

En travaillant sur l'ensemble de la chaîne de valeur, le CEA cherche à matérialiser des « preuves de concept », démonstrations de faisabilité permettant de contribuer à l'évolution de la filière à tous les stades depuis les industries chimiques jusqu'aux intégrateurs, en passant par les fabricants.

Choix des matériaux, mélange au solvant pour former une encre imprimable sur feuille de métal conducteur, puis placement dans un boîtier avec l'électrolyte avant le scellement hermétique... les différentes étapes de conception et de fabrication s'adaptent à l'application souhaitée. Tout l'enjeu consiste à réussir le passage à l'échelle. Autrement dit, à passer de l'étude sur quelques grammes dans les laboratoires de recherche à quelques kilos sur des outils plus volumineux. À chaque fois, il s'agit de caractériser la batterie en situation d'usage réel en procédant à des essais terrain, en validant les stratégies de gestion et en modélisant les puissances.





Les défis technologiques des nouvelles générations de batteries

POUR QUELLES APPLICATIONS DÉDIÉES?

« Il n'y a pas de limite dans l'architecture et la taille d'une batterie, bien qu'on évite les gros volumes surtout pour les systèmes embarqués », précise Sébastien Patoux. Les composants, les assemblages et les architectures répondent à chaque fois à des impératifs industriels.

On trouve notamment des batteries pour implants médicaux, petites, sûres et biocompatibles, des batteries pour des applications d'électromobilité, puissantes et durables.

Pour des équipements plus volumineux, il existe des projets de packs batteries pour les voitures électriques ou les bus comme le bus Iveco, mis au point en collaboration avec EDF, Michelin et le CEA de Grenoble, ou encore pour certains véhicules portuaires, voire pour l' E-Fan, le premier avion électrique d'Airbus.

Tous ces équipements reposent sur des chimies différentes qui, elles-mêmes, peuvent s'adapter à une infinité de cahiers des charges et aux nouveaux marchés émergents (batteries organiques, batteries flexibles, redox flow..).

Au-delà des technologies lithium-ion conventionnelles, les recherches des laboratoires s'orientent vers celles qui ont la meilleure faisabilité et crédibilité industrielles.

LES VÉHICULES ÉLECTRIQUES, UN MODÈLE ÉCONOMIQUE RENTABLE ?

Un participant souligne le décalage entre le prix d'achat de véhicules électriques et l'usage finalement limité de l'utilisateur. Jean-Marie Tarascon répond : « En 2020, le prix des batteries sera divisé par un facteur 3, alors que la densité énergétique sera multipliée par un facteur 1,5. Néanmoins, nous connaissons nos limites. Pour la mobilité, la compétitivité des batteries s'améliore plus rapidement que celle des piles à combustible. Mais gare à la surenchère, plus on augmentera leur densité d'énergie, plus les utilisateurs réclameront de nouvelles fonctions! »

« Il n'y a pas de limite dans l'architecture et la taille d'une batterie. »





Les défis technologiques des nouvelles générations de batteries

AU-DELÀ DU LITHIUM-ION, LES ATOUTS DE 3 TECHNOLOGIES PHARES

• Lithium-rich (Li-rich) ou Li-ion haute énergie

On l'appelle également le lithium NMC (nickel, manganèse et cobalt). Ces matériaux NMC représentent la meilleure solution pour la cathode et les matériaux à base de silicium, la meilleure pour l'anode. Le lithium-rich permet d'ores et déjà d'atteindre une puissance de 300 Wh/kg et 800 Wh/litre. Néanmoins, des recherches sont en cours pour essayer d'améliorer la durée de vie. En matière de performance, le lithium-rich devrait atteindre 400 à 500 Wh/kg entre 2020 et 2030.

<u>Lithium-soufre (Li-S)</u>

Peu coûteux et très disponible, le soufre, en entrant en interaction avec le lithium, atteint des capacités élevées. Mais malgré son faible coût et son faible impact environnemental, des verrous restent à lever, notamment sur la durée de vie. La technologie s'avère prometteuse pour l'énergie massique - aéronautique et aérospatiale notamment - où le poids est plus critique que le volume. D'ici une dizaine d'années, il devrait être possible d'atteindre des performances supérieures à celles du lithiumion à des coûts très compétitifs.

Sodium-ion (Na-ion)

Cette technologie représente une alternative à la technologie Li-ion pour des applications stationnaires et affiche déjà de hautes performances en termes de puissance et de cycles de vie, malgré un potentiel d'optimisation encore à développer.

Voir l'interview vidéo de Sébastien Patoux



Télécharger la présentation de Sébastien Patoux Partie 1



Télécharger la présentation de Sébastien Patoux Partie 2







Puissance et récupération d'énergie, les promesses des supercondensateurs



Patrice Simon, professeur à l'université de Toulouse et directeur-adjoint du RS2E, explique le rôle essentiel des supercondensateurs et les moyens d'optimiser leur densité d'énergie.

Moins connus que les batteries, les supercondensateurs sont des systèmes électrochimiques complémentaires qui permettent de délivrer et de récupérer des pics de puissance sur des temps très courts. « Le supercondensateur apporte la puissance du sprinter, contrairement à l'énergie de la batterie lithium-on qui intervient en coureur de fond », explique Patrice Simon. Ainsi, les batteries fournissent des puissances limitées sur un temps long, les supercondensateurs assurent des pics de puissance sur des temps très courts.

UN SUPERCONDENSATEUR, COMMENT ÇA MARCHE?

Contrairement aux batteries, dans le supercondensateur, il n'y a pas de réaction chimique. La charge et la décharge sont beaucoup plus rapides parce que les ions stockés en surface sont immédiatement disponibles. Pour optimiser cette capacité, on a mis au point des carbones poreux avec des pores de l'ordre du nanomètre, offrant ainsi une capacité de stockage des ions de plus en plus importante. Autre intérêt du supercondensateur : une durée de vie très longue, plus d'un million de cycles grâce à l'absence de changement de phase.

POUR QUELLES APPLICATIONS?

Le supercondensateur s'adapte à toutes les échelles. En petit format, il permet à un outil de découpe ou à une visseuse portable de se recharger en 30 secondes moyennant une utilisation courte. Ces dispositifs de stockage de l'énergie électrique sont déjà utilisés, dans des formats plus conséquents, dans les véhicules électriques ou hybrides car ils fournissent de la puissance au moment du démarrage (en complément de la batterie).

Sur des systèmes plus puissants comme le tramway, les supercondensateurs permettent de récupérer l'énergie de freinage, un pic d'énergie de durée très courte, ce que ne peut faire la batterie. Autre cas : le bus autonome (Blue Tram de Blue Solutions). Même si son autonomie se limite à 1,5 km seulement, le bus se recharge en moins d'une minute, à chaque station, le temps pour les passagers de monter ou descendre.



Puissance et récupération d'énergie, les promesses des supercondensateurs

COMMENT AUGMENTER LA DENSITÉ D'ÉNERGIE?

Pour démocratiser ces applications, le défi consiste à augmenter la densité d'énergie stockée dans ces équipements. Patrice Simon rappelle les 3 solutions possibles.

1. Augmenter les capacités des carbones

Les capacités de charge sont exacerbées lorsque la taille des pores est proche de celle des ions.

C'est la raison pour laquelle, en 2006, l'équipe du CIRIMAT de Toulouse a ouvert de nouvelles voies en proposant des structures de carbone les plus aptes à recevoir de grandes capacités et donc de fortes densités d'énergie.

La société Maxwell a ainsi lancé, en 2015, un système basé sur des carbones microporés pour un système à 3 volts avec une capacité de 7 Wh/kg (contre 4-5 Wh/kg jusqu'à présent).

De son côté, en utilisant des carbones synthétiques, Skelontechs a réussi à augmenter encore davantage la capacité en atteignant 9,5 Wh/kg. Patrice Simon de rappeler qu'entre 2005 et 2016, la capacité des carbones a doublé même si, à terme, la densité énergétique ne devrait pas dépasser 15 Wh/kg dans les systèmes conventionnels.

2. Augmenter la tension des cellules

De nouveaux concepts apparaissent, consistant à mettre au point des électrolytes à grandes fenêtres de stabilité tels que des nouveaux électrolytes modifiés avec des fonctions redox qui peuvent doubler leur capacité. Émergent depuis seulement 18 mois, ce nouveau concept s'annonce très prometteur.

3. Mettre au point des systèmes hybrides

Le principe consiste à associer, dans le même boîtier, une électrode de batterie pour l'énergie et une électrode de supercondensateur pour la puissance. On obtient ainsi de bonnes densités d'énergie avec néanmoins les avantages et les inconvénients de chacun. Séduisante sur le papier, cette voie soulève encore pas mal d'interrogations en termes de cyclabilité, de puissance et de vitesse de recharge.

À l'heure actuelle, les supercondensateurs à base de carbone - *Electric Double-Layer Capacitors*, EDLCs - demeurent les mieux placés en termes de performance (durée de vie, puissance et température de fonctionnement).

Voir l'interview vidéo de Patrice Simon



Télécharger la présentation de Patrice Simon







Photovoltaïque + stockage : les prospectives des solutions couplées



Yann Laot, Energy Storage & Smart Grid Manager TOTAL New Energies, analyse les évolutions du secteur de l'énergie sous le double effet du développement des ENR et du stockage de l'énergie à coûts décroissants.

Yann Laot examine l'impact de deux tendances de fond sur les marchés de l'énergie.

1. Le coût des ENR est en décroissance forte et continue

Les coûts de production des énergies renouvelables ne cessent de chuter. C'est vrai pour le solaire comme pour l'éolien, mais c'est aussi vrai pour le coût d'investissement de l'équipement initial.

« Jusqu'à présent, une fois la technologie arrivée à maturité, les coûts étaient stables et dépendaient du coût variable. Alors que lorsqu'on investit dans les ENR, la production d'un kilowatt heure ne coûte quasiment plus rien et on dispose d'une visibilité sur son prix pendant 20 ans, phénomène très nouveau. »

2. Le stockage de l'énergie connaît le même phénomène

On assiste, en matière de stockage, aux mêmes tendances : décroissance rapide et continue des coûts et augmentation de la durée de vie et de la fiabilité des batteries. Ces tendances incitent au couplage ENR car, qui dit ENR, dit besoin de solutions pour gérer leur intermittence, réponse que le stockage peut justement apporter.

« Lorsqu'on investit dans les ENR, la production d'un kilowatt heure ne coûte quasiment plus rien . »





Photovoltaïque + stockage : les prospectives des solutions couplées

UNE SOURCE D'ÉNERGIE À COÛT NUL POUR LA PREMIÈRE FOIS DANS L'HISTOIRE

Avoir affaire à une source d'énergie à coût marginal nul ne va pas sans créer des perturbations sur nos marchés européens de l'énergie peu coutumiers de ces phénomènes.

« Les prix sur le marché SPOT de l'électricité sont entre 20 et 30 €/MWh, soit 25 à 30 % en dessous du prix de l'ARENH », précise Yann Laot. Or, ces tendances ne vont pas s'arrêter. « Même si le prix des ENR finira, à terme, par cesser de décroître, les spécialistes s'accordent sur le fait que les prix vont continuer à diminuer à l'horizon de 15 ou 20 ans. » Actuellement, le prix de revient de l'électricité solaire s'élève entre 7 à 10 centimes d'euros /kWh et pourrait atteindre, d'ici quelques années, 2 à 6 centimes d'euro.

À ce montant, il convient d'ajouter un prix du stockage d'environ 150 \$/kWh pour 3 000 cycles. Avec un coût de revient de la batterie à 5 centimes du kWh, le coût total de stockage + solaire s'élève à environ 8 ct/kWh contre 4 ct/kWh pour l'ARENH.

VERS UNE DISRUPTION MAJEURE DES MARCHÉS DE L'ÉNERGIE

Difficile de prévoir des investissements quand on doute de ce que vaudra l'énergie dans 25 ans. Les marchés sont donc nécessairement perturbés par ces constats, même hors marché européen. Dans ce contexte, le stockage apparaît comme un moyen de flexibilité face à l'intermittence des ENR.

C'est une des solutions mais il y en a quatre autres :

- Jeter les ENR excédentaires, ce qui ne coûte rien.
- Utiliser les énergies disponibles classiques, gaz ou hydraulique.
- Avoir recours au smart grids et intégrer de l'intelligence dans le réseau pour gérer la demande et l'effacement.
- Développer le réseau électrique européen de manière à échanger les électrons solaires de la Bavière avec le nucléaire et le stockage français, par exemple.





Photovoltaïque + stockage : les prospectives des solutions couplées

• • •

LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE, UNE SOLUTION À ADAPTER À DES CONTEXTES LOCAUX

Ainsi, si le stockage de l'énergie figure parmi les solutions, celle-ci n'est pas dénuée de défaut. Yann Laot établit un parallèle. Le stockage d'une batterie fonctionne comme un compte en banque dont l'ouverture coûterait 500 euros, chaque retrait diminuerait la valeur restante et à l'issue de 100 retraits, le compte se fermerait automatiquement imposant d'en ouvrir un nouveau.

C'est donc une solution mais qui a ses limites et qui demande un usage adapté au contexte local, suivant le mix électrique en place, suivant l'existence de moyens alternatifs et de besoins centralisés ou non.

Ainsi conclut Yann Laot, la question centrale n'est plus de savoir si on est pro ou anti ENR, pro ou anti stockage mais surtout de savoir comment l'industrie française se met en ordre de marche pour proposer, dans tous les pays du monde, des solutions couplées stockage-ENR qui répondent localement aux enjeux des clients.

DANS QUELS CAS PRÉCONISER LES COUPLAGES ÉOLIEN-STOCKAGE?

Pour Yann Laot, le couplage de l'éolien-stockage répond à des critères proches du couplage solaire, avec des échelles d'intermittences différentes. Mais associer mécaniquement le stockage à une source de renouvelable uniquement pour compenser un problème d'ENR présente un risque. Mieux vaut penser lissage à l'échelle d'un territoire en combinant différents moyens de flexibilité, particulièrement en France qui a la chance de disposer de 3 régimes de vents différents.

Voir l'interview vidéo de Yann Laot







La valeur ajoutée des batteries sur les réseaux électriques



Stéphane Lascaud, directeur général de EDF Store & Forecast, revient sur des expériences de stockage réseau déjà à l'œuvre et sur les bénéfices apportés de ces solutions pour lisser la production et compenser les variations de fréquences induites par les ENR.

Même constat pour Stéphane Lascaud sur la mutation du système électrique auquel nous assistons actuellement : « Sous l'effet de la décroissance rapide du prix du photovoltaïque, du prix des batteries Li-ion, de la convergence du numérique qui permet de placer des capteurs partout et d'exploiter les données et, enfin, des politiques publiques en faveur de la transition énergétique, nous sommes en train de passer d'un réseau unidirectionnel à un réseau de circulation de l'électricité avec stockage. »

UNE MUTATION DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE ÉPROUVÉE SUR LES TERRITOIRES INSULAIRES

En tant que développeur de solutions logicielles de prévision, de planification et de pilotage de la production à l'aide de stockage, EDF Store et Forecast teste, depuis 2 ans, en mode start-up la viabilité d'une activité industrielle et commerciale sur ces sujets.

Dès 2009, EDF a lancé des projets R&D sur les territoires insulaires exposés au soleil mais dénué d'interconnexions réseau et fortement dépendant d'énergies fossiles. Précurseurs de ces tests, ces territoires ont été des lanceurs d'alerte de ces mutations. Dès 2009, une première batterie a été installée sur l'île de la Réunion (de 7 Mwh suivant une technologie sodium-soufre).

« Nous sommes en train de passer d'un réseau unidirectionnel à un réseau de circulation de l'électricité avec stockage. »





La valeur ajoutée des batteries sur les réseaux électriques

UN LISSAGE À 3 TEMPS POUR GARANTIR UNE PRODUCTION

Les expériences montrent que les ENR posent 3 problèmes que le stockage peut venir lisser :

- D'abord, à l'échelle de l'heure pour transférer l'énergie solaire aux heures où on en a besoin.
- Ensuite, à l'échelle de la seconde selon les fluctuations rapides des nuages qui demandent habituellement une compensation en production hydraulique ou thermique.
- La question se pose, enfin, à l'échelle de l'infraseconde, le stockage permettant de maintenir la fréquence de 50 Hz nécessaires au fonctionnement du système électrique.

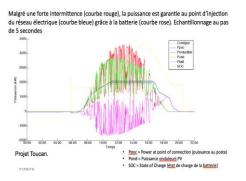
Fait significatif, l'enjeu consiste non plus à injecter l'énergie au fil du soleil mais à fournir une énergie lissée et garantie sur le système électrique et d'annoncer une production au gestionnaire de réseau.

LISSAGE DE LA FERME SOLAIRE DE TOUCAN, LA BATTERIE SOUS PILOTAGE

Plusieurs réalisations utilisant différentes chimies ont été mises en place en Guyane notamment. C'est le cas de la ferme solaire Toucan, avec la contribution de EDF EN, qui a une puissance installée de 5 MWc et une batterie de 1,5 MW soit 4,5 MWh permettant de stocker une heure de centrale solaire à pleine puissance.

La courbe de charge de la ferme solaire du Toucan montre l'extrême intermittence de l'énergie photovoltaïque dont la puissance grimpe en quelques secondes à 4MW pour redescendre aussitôt à 1MW avant de revenir à 3MW. 3 leviers permettent de lisser la production :

- Jeter l'énergie car il n'est pas toujours intéressant de stocker le dernier kWh.
- Piloter de manière dynamique les onduleurs solaires (courbe verte).
- Utiliser la batterie (courbe rose) pour obtenir l'objectif au point de livraison (courbe bleue).



Tout l'enjeu consiste à démarrer la journée avec un état de charge le plus bas possible pour permettre un stockage maximum à midi. Ainsi, le modèle repose sur une combinaison entre la prévision photovoltaïque à l'échelle de la journée et le pilotage de la batterie pour garantir une énergie parfaitement stable.





La valeur ajoutée des batteries sur les réseaux électriques

•••

COMPENSER LES VARIATIONS DE FRÉQUENCE DES ENR

La fréquence des systèmes électriques est la résultante d'un équilibre offre-demande. Si la demande est supérieure à l'offre, la fréquence baisse et inversement. Or, les ENR introduisent des variations de fréquence difficiles à maîtriser pour les gestionnaires de réseau.

Dans la région Est des États-Unis, le réseau n'est pas bien interconnecté au reste des États-Unis. Le gestionnaire de réseaux de 3 États (Pennsylvanie, New Jersey, Maryland - PJM) a créé une place de marché pour inciter les investisseurs à installer des batteries de manière à fournir la puissance à la demande. Opération réussie : en 18 mois, plus de 100 MW de batteries ont été raccordés, permettant de fournir la puissance nécessaire. Près de Chicago, 11 conteneurs de batteries à base de lithium-ion sont pilotés de manière dynamique en fonction du temps pour compenser les écarts de fréquence, ce qui permet d'apporter de la souplesse au gestionnaire de réseau PJM qui peut ainsi atténuer les variations de fréquences.

QUEL LIEN ÉTABLIR ENTRE L'ÉTAT DES RÉSEAUX ET LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ?

Stéphane Lascaud précise que l'Europe a la chance d'être très bien interconnectée contrairement aux États-Unis.

Mais cette bonne capacité du réseau n'est pas antinomique avec le développement des ENR. Déjà, certaines régions comme PACA, confrontées à des problèmes d'approvisionnement, s'annoncent comme les fers de lance des ENR avec une production décentralisée.

Voir l'interview vidéo de Stéphane Lascaud



Télécharger la présentation de Stéphane Lascaud



