

Le stockage d'énergie: Accompagner le déploiement des énergies renouvelables et la régulation du réseau électrique

BOULAHCHICHE Saliha, Ingénieur principale de recherche
 Division Energie Solaire Photovoltaïque - CDER
 E-mail : s.boulahchiche@cder.dz

Introduction

L'énergie est considérée comme l'un des facteurs les plus importants qui joue un rôle vital dans la croissance et le développement économiques durables. L'augmentation actuelle de la demande d'électricité et le changement climatique ont renforcé la nécessité de s'affranchir des combustibles conventionnels et d'utiliser des sources des énergies renouvelables [2].

Les énergies renouvelables ont fait des progrès impressionnants dans le secteur de l'électricité. Au cours de la dernière décennie, la capacité a augmenté de 130 %, alors que les énergies non renouvelables n'ont progressé que de 24 % (figure 1). En 2021, la capacité totale d'électricité renouvelable atteindra 3 064 GW, générant environ 8 000 térawattheures (TWh) d'électricité [2,5].

Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau sont le type d'application de l'énergie solaire le plus largement utilisé de nos jours. Actuellement, les centrales PV connectées au réseau à grande échelle sont considérées comme l'un des principaux moyens de réduire les coûts, de diminuer la consommation d'énergie et de développer la fiabilité et la flexibilité des systèmes électriques dans le monde entier. La capacité installée de l'énergie solaire photovoltaïque devrait être multipliée par sept d'ici 2030 (pour atteindre près de 5200 GW) et multipliée par vingt d'ici à 2050 pour dépasser 14000 GW [2,4, 5].

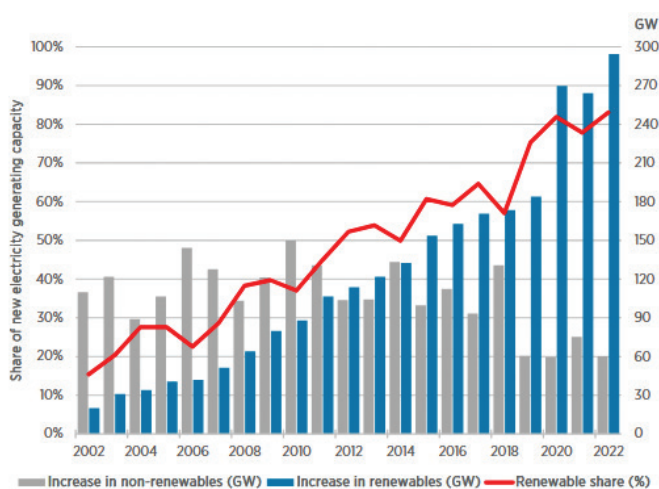


Figure 1. Evolution de la part des énergies renouvelable par rapport à les énergies fossiles

A mesure que la part des énergies renouvelables augmente, les réseaux électriques sont confrontés à de nouveaux défis opérationnels et de planification pour assurer une intégration fiable et efficace de ces ressources. Traditionnellement, la flexibilité est assurée par la production thermique classique. Cependant, la flexibilité doit désormais être recherchée dans tous les secteurs de l'énergie, y compris les systèmes de stockage de l'énergie qui sont l'une des solutions clés pour un avenir alimenté par les énergies renouvelables. [1, 2,4, 5].

Le stockage de l'électricité fait référence aux technologies qui permettent de stocker l'énergie électrique et de la restituer sur demande au moment où elle est le plus nécessaire. Grâce à sa capacité unique d'absorber, de stocker et de réinjecter l'électricité, le stockage de l'électricité est considéré comme une solution clé pour relever les défis techniques liés à l'intégration des énergies renouvelables, parallèlement à d'autres solutions (demande plus souple, accélération de la montée en puissance des centrales électriques traditionnelles, etc.) Par conséquent, le stockage suscite un intérêt croissant dans le secteur de l'électricité et devrait jouer un rôle clé dans les prochaines étapes de la transition énergétique (figure 2)[1- 5].



Figure 2. Cadre d'évaluation du stockage de l'électricité

Services du stockage dans les centrales photovoltaïques connectées au réseau

Les systèmes électriques avec l'intégration des énergies renouvelables ont besoin d'une série de services auxiliaires pour garantir un fonctionnement fiable. Les possibilités d'utilisation des systèmes de stockage d'énergie (BESS) avec le réseau peuvent être regroupées dans les cas de fonctionnement suivants [1,5]

1. Réserves d'exploitation

Pour garantir un approvisionnement en électricité sûr et fiable, la production doit être égale à la demande à tout moment. Toute inadéquation entre l'offre et la demande se manifeste par l'écart de fréquence du réseau par rapport à sa valeur nominale. Si la production dépasse la demande, la fréquence augmente, tandis qu'elle diminue si la production est inférieure à la demande. Les gestionnaires de réseau se procurent un ensemble de réserves d'exploitation à action rapide afin d'arrêter les variations de fréquence produites par un déséquilibre de puissance [1, 5] :

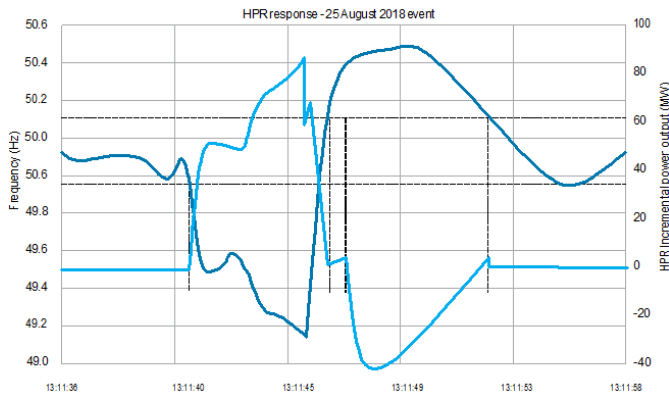


Figure 3. Regulation de la fréquence par les systèmes de stockage

2. Rampage flexible

L'une des courbes les plus caractéristiques de l'analyse des réseaux électriques est la courbe de demande ou de charge, qui représente l'énergie requise par les clients à chaque période (secondes, minutes, heures). Dans les réseaux électriques où la pénétration des ERV est faible, cette courbe est souvent caractérisée par deux pics, le premier le matin, et le deuxième le soir. Lorsque la pénétration des ERV, et plus particulièrement de l'énergie solaire photovoltaïque, commence à augmenter, la forme de la courbe de charge nette change radicalement à ce que l'on appelle la «courbe du canard». Cette courbe se caractérise par des exigences de rampe très élevées qui doivent être satisfaites par d'autres ressources du système. Les technologies flexibles telles que le stockage de l'énergie permettent de répondre à ces exigences de rampe et d'aplanir la courbe du canard. [1, 5].

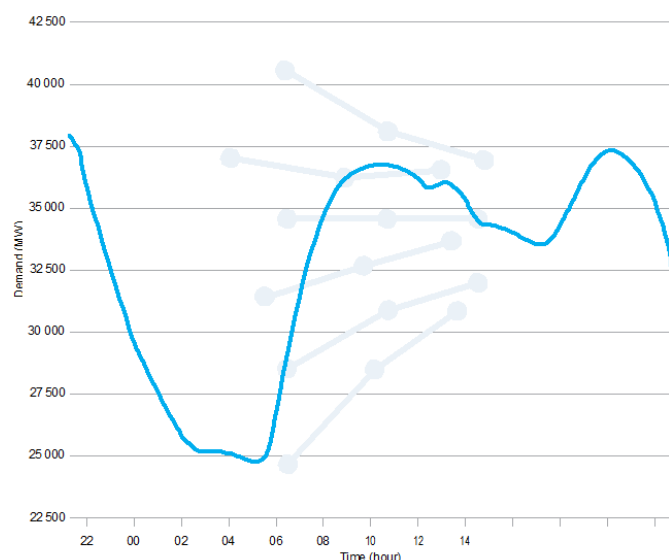


Figure 4. Variation la courbe de demande (courbe du canard)

3. Arbitrage Énergétique

Dans un marché où les tarifs de l'énergie sont variables. L'arbitrage énergétique consiste essentiellement à stocker l'électricité lorsque l'énergie est abondante et peu coûteuse, et à la décharger sur le réseau lorsqu'elle est rare et très chère, afin de générer des revenus supplémentaires. [1,5]

4. Economies de capital pour les centrales de pointe

Pour que le système électrique fonctionne de manière sûre et fiable. Les gestionnaires du réseau doit programmer et exploiter des centrales électriques pour répondre à la demande à court terme. En outre, il doit garantir une capacité de production suffisante à moyen et long terme pour couvrir le pic de demande prévu. Le stockage de l'énergie peut alors être utilisé pour couvrir la demande de pointe et éviter la nécessité d'investir dans des centrales de pointe. [1]

5. Congestion des réseaux de transport et de distribution

La congestion des réseaux de transport et de distribution est l'un des principaux problèmes auxquels les gestionnaires de réseau doivent faire face pour garantir la sécurité et la fiabilité du réseau. Lorsque la pénétration des ERV dans le système est élevée, le risque de congestion du réseau de transport et de distribution est plus important, ce qui pourrait menacer la sécurité et la fiabilité du système en raison de la variabilité et de l'incertitude des ressources ERV. Dans cette situation, les gestionnaires de réseau sont parfois obligés de recourir à la réduction de l'ERV comme méthode de gestion de la congestion. [1]

6. Lissage de l'ERV

Les ERV se caractérisent par leur variabilité et leur incertitude. Dans le cas de l'énergie solaire photovoltaïque, la fluctuation de la puissance est principalement causée par les mouvements des nuages qui peuvent diminuer la qualité et la fiabilité de l'électricité et poser un problème aux opérateurs de réseaux. Les fluctuations de puissance produisent alors une instabilité de la tension et de la fréquence. [1, 5]

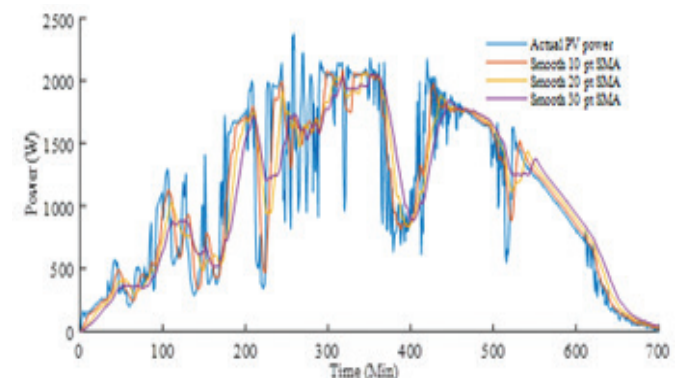


Figure 5. Lissage de la puissance photovoltaïque

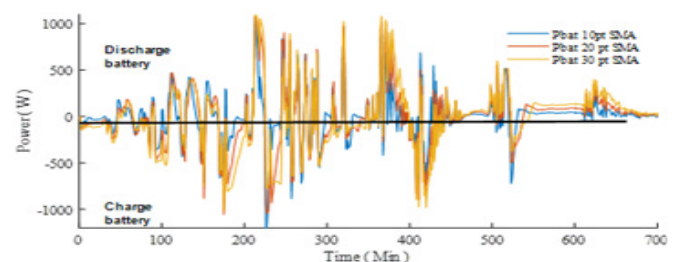


Figure 6. Charge et décharges les batteries pour lisser la puissance photovoltaïque

I. Interconnexion les centrales photovoltaïques et les batteries

Il existe deux scénarios possibles de l'intégration des BESS dans l'architecture d'une centrale photovoltaïque [5] :

1. Connexion en parallèle aux panneaux PV par le biais d'un convertisseur de charge DC/DC dédié.

Interconnexion d'un BESS dans une centrale PV en parallèle aux panneaux PV nécessaire pour l'atténuation de l'intermittence et les contraintes opérationnelles comme les problèmes de la qualité de l'énergie.

2. Connexion par des convertisseurs propres utilisant un transformateur de puissance commun ou dédié.

il est possible de séparer les installations de production et de stockage d'énergie en connectant les BESS avec leurs propres onduleurs de batterie en parallèle avec les onduleurs PV et en s'interfaçant avec le réseau par des transferts de puissance communs ou dédiés. Les solutions BESS dans ce cas nécessaire pour assurer les services auxiliaires mentionné Précédemment.

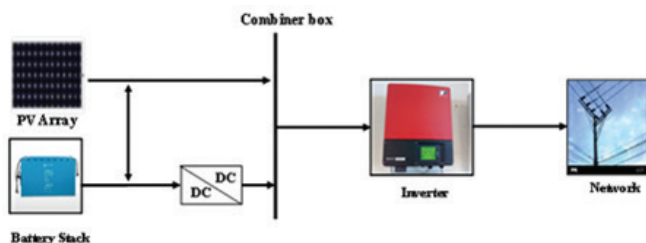


Figure 7. Interconnexion d'un BESS dans une centrale PV en parallèle aux panneaux PV.

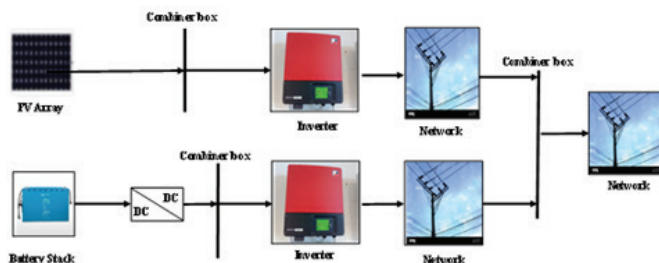


Figure 8. Interconnexion d'un BESS dans une centrale PV par des propres convertisseurs.

II. Choix des technologies de stockage

Les batteries sont identifiées comme un moyen approprié de stockage l'énergie pour les systèmes électriques au regard des exigences mentionnées. Elles stockent l'énergie en convertissant l'énergie électrique en énergie chimique par le biais d'une réaction chimique [1]. L'énergie peut être stockée pendant un certain temps et peut être libérée en cas de besoin grâce à la conversion de l'énergie chimique en un potentiel de tension entre les électrodes positives et négatives qui se trouvent dans l'électrolyte de la batterie.

Actuellement, les batteries lithium-ion sont l'une des formes de stockage d'énergie la plus utilisée dans les systèmes d'énergie renouvelable. Elles existent sous différentes formes et différents types, et représentant 85,6 % des systèmes de stockage d'énergie déployés jusqu'à l'année 2021. Le tableau donne un aperçu de l'adéquation des technologies de stockage stationnaire de l'énergie à certaines applications cou-

rantes dans le réseau électrique. Les classements peuvent être représentés sous la forme d'une carte thermique indiquant le degré d'adéquation de chaque technologie à chaque cas. La couleur verte indique les technologies les plus adaptées, tandis que la couleur rouge indique celles qui le sont moins (1= meilleur, 10= pire). Selon les statistiques, les batteries lithium-ion c'est les meilleurs choix et offre un équilibre entre les performances et le coût [1].

Parameters	VRLA	Pumped Hydro	CAES	Flywheels	NM C	NCA	LFP	LTO	NaS	Na/PCl2 (Zebra)	ZBB	VRB
Renewable Shifting	10	1	4	12	2	3	5	9	6	7	11	8
Renewable Smoothing	6	7	8	5	1	3	2	4	9	11	12	10
Flex Ramping	10	1	4	12	2	3	5	9	6	7	11	8
Auxiliary Services	6	7	8	5	1	3	2	4	9	11	12	10
T&D Deferral	3	9	10	12	1	2	4	6	5	7	11	8
Reactive Power Management	4	7	8	6	1	2	3	5	9	10	12	11
BTM Power Management	4	11	11	10	1	2	3	5	6	7	9	8

1. Evaluation technico- économique du service de stockage :

Les services de stockage sont complétés par une analyse technico-économique des technologies de stockage de l'électricité. Selon IRENA les principaux paramètres technico-économiques sont pris en compte [1-5].

Analyse technique :

- Rendement des batteries.
- Taux de charge ou de décharge de la batterie minimale (C-rate minimum).
- Taux de charge ou de décharge de la batterie maximale (C-rate maximum).
- Profondeur de décharge maximale.
- Température de fonctionnement maximale.
- Sécurité (stabilité thermique).

Analyse économique :

- Dépenses d'investissement en matière de stockage (USD/kWh).
- Convertisseur de puissance (USD/kWh).
- Délai de développement et de construction.
- Coût de fonctionnement (USD/kWh).
- Densité énergétique (Wh/kg)
- Densité énergétique (Wh/L)

Conclusion

Le stockage d'énergie par batterie est un moyen de stabiliser le fonctionnement du réseau électrique et de permettre l'installation d'une plus grande capacité d'énergie renouvelable, facilitant l'accélération de la transition énergétique grâce à un déploiement rapide et évolutif, et à la fourniture efficace de services auxiliaires. En outre les producteurs des énergies renouvelables sont de plus en plus nombreux à Co-déployer le stockage pour maximiser la rentabilité de leurs de production.

Référence

1. Electricity Storage Valuation Framework Assessing system value and ensuring project viability,IRENA 2020
2. Renewable capacity highlights,IRENA edition march 2023
3. Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030, IRENA
4. Global landscape of renewable energy finance 2023, IRENA
5. Jan Figgnera,c,d, Peter Stenzel, Kai-Philipp Kairiesa, Jochen Linsen, David Haberschusza, Oliver Wesselsa, Georg Angenendta, Martin Robinius, Detlef Stolten, Dirk Uwe Sauera, The development of stationary battery storage systems in Germany –A market review, Journal of Energy Storage, 2020