

SYSTÈMES DE STOCKAGE D'ÉLECTRICITÉ : APPLICATIONS ET ANALYSES DE RENTABILITÉ



Résumé

Les systèmes de stockage d'électricité retiennent de plus en plus l'attention des décideurs et des opérateurs de réseaux d'électricité. Les facteurs principaux qui ont mené à cet intérêt renouvelé comprennent la hausse de la proportion des sources intermittentes d'énergie renouvelable dans la production d'électricité, les coûts élevés de l'infrastructure requise pour assurer la fiabilité des réseaux électriques, ainsi que les coûts importants associés à la gestion de la demande électrique de pointe. Les bénéfices perçus des systèmes de stockage d'électricité ont mené au développement de nouvelles technologies de stockage, à des projets de démonstration, ainsi qu'à des projets de recherche qui quantifient les avantages des systèmes de stockage. La présente étude du Canadian Energy Research Institute (CERI) évalue trois propositions de valeur distinctes pour les applications suivantes de stockage d'électricité :

- 1) Les systèmes de stockage d'électricité pour les applications derrière-le-compteur : nous évaluons la valeur financière des situations où des utilisateurs commerciaux et institutionnels d'électricité emploient des systèmes de stockage sur place pour réduire le coût global de l'électricité. Cinq types d'installation ont été étudiés.
- 2) Les systèmes de systèmes de stockage d'électricité pour l'arbitrage de l'énergie en vrac : nous évaluons la valeur économique des systèmes de stockage d'électricité qui fonctionnent en mode d'arbitrage de l'énergie, où l'électricité est achetée dans un marché énergétique durant une période de prix réduit, puis revendue au moment où le prix est élevé.
- 3) Les systèmes de systèmes de stockage d'électricité pour l'affermissement des énergies renouvelables : nous évaluons les coûts économiques de l'électricité fournie par des sources éoliennes et solaires photovoltaïques coimplantées sur un systèmes de stockage d'électricité. Un système de stockage d'électricité est employé pour affermir la production variable des sources éoliennes et photovoltaïques et produire de l'électricité acheminable selon la demande.

Ces applications sont évaluées en tenant compte des coûts d'infrastructure actuels et futurs des systèmes de stockage d'électricité. Les technologies liées aux systèmes de stockage d'électricité connaissent une évolution rapide et se trouvent dans une phase d'adaptation. Ces tendances peuvent mener à une réduction des dépenses d'infrastructure en raison de l'*apprentissage technologique* (c'est-à-dire la baisse des coûts de la technologie grâce à la maturité que cette dernière gagne). Nous avons mené une revue de la littérature scientifiques des technologies liées aux systèmes de stockage d'électricité dans le but d'obtenir les données et les taux d'apprentissage technologique requis afin d'estimer les coût d'infrastructure futurs des systèmes de stockage d'électricité. On a déterminé que les batteries au lithium-ion (Li-ion), les accumulateurs à circulation et les piles à combustible à hydrogène sont les technologies qui ont le plus grand potentiel de réduction des coûts futurs. Les trois évaluations d'application ont été effectuées pour trois années futures d'investissement (2020, 2030 et 2040) pour approfondir les

conséquences des paramètres économiques en évolution des systèmes de stockage d'électricité par suite de l'apprentissage technologique.

Les services auxiliaires et les services d'infrastructure de transmission et de distribution forment deux catégories principales d'application du stockage d'énergie qui ont été exclues de l'analyse. L'estimation de la valeur du stockage d'énergie selon ces catégories d'application nécessite une modélisation détaillée au niveau des systèmes, y compris des simulations de l'exploitation des systèmes de génération, de transmission et de distribution. Une telle analyse ne fait pas partie de la présente étude, mais sera intégrée à des travaux ultérieurs.

L'emploi des systèmes de stockage d'électricité dans les applications derrière-le-compteur commerciales et industrielles a connu une hausse significative au cours des dernières années, principalement dû au fait que ces utilisateurs paient une prime de puissance (qui parfois s'élève à 50 % de la facture totale d'électricité) qui correspond à la demande de pointe enregistrée pendant la période de facturation. Ces utilisateurs peuvent réduire leur prime de puissance en déplaçant une fraction de la demande d'une période de pointe vers une période hors pointe à l'aide d'un système de stockage d'électricité. La valeur économique des systèmes de stockage d'électricité dans les applications derrière-le-compteur dépend principalement du profil de charge de l'établissement ainsi que de la structure des taux d'électricité qui s'applique.

Une réduction notable des coûts de stockage au cours des dernières années a également favorisé cette tendance. On s'attend à ce que les coûts continuent à diminuer pour la plupart des technologies liées aux systèmes de stockage d'électricité. Dans la présente étude, nous avons employé une technique d'écrêtement des pointes pour réduire la demande de pointe mensuelle des clients commerciaux et industriels derrière-le-compteur afin d'examiner les facteurs économiques des systèmes de stockage d'électricité pour ces applications. En vertu de la structure actuelle des taux, le recours aux systèmes de stockage d'électricité pour les applications derrière-le-compteur afin de gérer le coût des factures d'électricité dans les provinces étudiées (Alberta, Saskatchewan, Colombie-Britannique, Ontario et Nouveau-Brunswick) commence à être profitable à partir de 2025 (avec un taux de rentabilité interne allant de 7 % à 20 %). La rentabilité dépend de l'importance de l'écrêtement possible des pointes de demande par l'intégration des systèmes de stockage d'électricité à la structure des taux d'électricité.

Pour un établissement donné, la forme du profil de la demande d'électricité et la structure des taux d'électricité sont les facteurs principaux qui contrôlent le niveau atteignable d'écrêtement de la pointe de demande grâce aux systèmes de stockage d'électricité. De façon générale, plus la différence est importante entre le coût de l'énergie et celui de la demande de pointe, plus un système de stockage d'électricité sera profitable. De plus, un profil de charge plat, c'est-à-dire un profil dont la différence entre la charge mensuelle minimale et maximale est faible, mènera probablement à un scénario moins profitable pour l'installation d'un système de stockage d'électricité dans une application derrière-le-compteur. À court terme, les batteries Li-ion constituent l'option technologique la plus concurrentielle principalement en raison de leur temps de réponse rapide, de leur grande disponibilité commerciale et de leur durée de vie relativement

plus longue par rapport aux autres technologies concurrentes, telles que les accumulateurs au plomb-acide.

Vu les contraintes liées aux provinces étudiées et l'absence de données sur les prix futurs de l'électricité à ce point, nous n'avons pas été en mesure de tirer des conclusions définitives quant à la valeur financière des systèmes de stockage d'électricité pour les applications d'arbitrage de l'énergie en vrac. Cependant, nous pouvons souligner les observations suivantes qui pourraient être considérées dans le cadre d'études futures dans le but d'acquérir une compréhension plus approfondie.

On a constaté que l'emploi de systèmes de stockage d'électricité pour l'arbitrage de l'énergie en vrac n'est pas intéressant financièrement dans les conditions présumées. L'analyse a étudié trois technologies liées aux systèmes de stockage d'électricité ainsi que leurs coûts d'installation actuels et futurs. La valeur économique des activités d'arbitrage de l'électricité est estimée à l'aide des prix de l'électricité observés dans le marché albertain de l'électricité au cours des quatre dernières années. Aucune des conditions à l'étude n'a mené à une valeur économique favorable pour les technologies de stockage évaluées. Cette situation découle de deux facteurs. D'une part, le coût de l'infrastructure de stockage est plus élevé. D'autre part, un faible écart existe entre le prix de l'électricité en période de pointe et en période hors pointe. Une opération indépendante d'arbitrage de l'énergie en vrac est profitable si la différence entre le prix d'achat et celui de vente de l'électricité est suffisant pour couvrir les coûts d'infrastructure et les frais d'exploitation. Les prix observés en Alberta ne sont pas suffisamment volatiles pour générer avec constance un écart de prix plus important qui favoriserait l'arbitrage de l'énergie en vrac à l'aide de systèmes de stockage d'électricité. La valeur économique des systèmes de stockage d'électricité dans un mode d'exploitation avec arbitrage de l'énergie en vrac peut s'améliorer si un système de stockage peut tirer profit de plusieurs sources de revenu. Ces flux de rentrées multiples peuvent être obtenus grâce à la prestation d'autres services de réseau d'électricité tels que les services de capacité et les services auxiliaires.

Les paramètres économiques de l'affermissement des énergies renouvelables par des systèmes de stockage d'électricité ont été évalués en étudiant la disponibilité des ressources éoliennes et solaires de 250 endroits dans 10 provinces canadiennes. À chaque endroit, nous avons simulé l'exploitation d'un réseau électrique employant des ressources solaires photovoltaïques, éoliennes et un système de stockage d'électricité intégré dont la disponibilité est semblable à celle d'une centrale conventionnelle de production. Un modèle linéaire d'optimisation a été élaboré afin de déterminer la conception idéale du système et d'estimer le coût moyen actualisé de l'électricité.

L'électricité produite par le système d'énergie renouvelable simulé n'est associée à aucune émission et par conséquent constitue une source d'électricité sans émissions de gaz à effet de serre (GES) offrant un niveau de fiabilité similaire à une centrale conventionnelle de production. Le coût moyen actualisé de l'électricité estimé a été simulé pour 250 systèmes intégrés d'alimentation électrique. Selon la province, le coût moyen actualisé de l'électricité minimal s'élève entre 16 et 21 cents/kWh pour l'année d'investissement 2020, qui correspond aux

conditions à court terme. Toutefois, au fur et à mesure que les technologies de stockage et de génération renouvelable prennent de la maturité et que les coûts d'infrastructure diminuent en raison de l'apprentissage technologique, le coût moyen actualisé de l'électricité baisse de 15 à 22 % d'ici 2030 et de 22 à 32 % d'ici 2040. Le plus bas coût moyen actualisé de l'électricité est observé dans les provinces maritimes, l'Ontario et le Manitoba.

Dans toutes les provinces, le coût moyen actualisé de l'électricité estimé est à présent plus élevé que le coût associé aux technologies conventionnelles de production telles que les centrales au gaz naturel à cycle combiné. D'ici 2030 à 2040, les systèmes combinés avec sources renouvelables intermittentes et stockage deviennent concurrentiels par rapport à d'autres technologies de production d'électricité sans émissions de GES et acheminable selon la demande telles que les grandes centrales hydroélectriques, l'énergie nucléaire et les centrales électriques au gaz naturel ou au charbon avec captage et stockage du CO₂.

Les systèmes intégrés d'approvisionnement en électricité demandent en général deux types de systèmes de stockage pour fournir des services d'arbitrage selon deux échelles de temps. Les systèmes d'accumulateurs, comme les batteries Li-ion et les accumulateurs à circulation, permettent la mise à disposition différée de l'énergie au cours d'une même journée au plus bas coût. La restauration de l'énergie stockée au cours d'une même journée ou d'une même semaine peut être économique si la source est constituée de piles à combustible à hydrogène. La diminution attendue du coût des piles à combustible à hydrogène les rend concurrentielles pour les applications de stockage à long terme.

Les sociétés d'électricité de plusieurs pays, y compris au Canada, ont déjà mis au point ou développent à présent des projets de démonstration à l'échelle du réseau de systèmes de stockage d'électricité coimplantés avec sources intermittentes d'énergie renouvelable. À mesure que les énergies renouvelables occupent une plus grande place sur les réseaux électriques, les considérations liées à stabilité des systèmes peuvent demander des services d'affermissement couplés à des systèmes de stockage d'électricité afin d'offrir une solution technique plausible. Notre analyse a montré que, peu importe le territoire, les systèmes de stockage constituent 50 % du coût de l'électricité fournie par les systèmes de stockage d'électricité associés à des sources d'énergie renouvelable. Les deux font l'objet d'une baisse de coût en raison de la mise en œuvre de projets commerciaux et de l'amélioration de l'efficacité des systèmes de stockage grâce à la recherche et au développement.