
Comprendre le Stockage d'Énergie



TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

Contexte	6
Le Manuel	7
Guide du Manuel	8

CAS D'USAGE

Introduction	14
Services de capacité	15
Services de l'énergie	22
Services auxiliaires	28
Descriptions des attributs technologiques	33
Segments du système	36
Des cas d'usage aux flux de valeur	40

ILLUSTRATION DES FLUX DE VALEUR

Introduction	42
Études de cas	44

MODÈLES D'ENTREPRISES PUBLIQUES ET PRIVÉES

Introduction	54
Modèles d'entreprises publiques	56
Modèles d'entreprises privées	64
Sources de financement	71

POLITIQUE

Introduction	75
Comprendre l'environnement politique existant	76
Liens entre politique, réglementation et planification	78
Tirer parti des politiques existantes	80
Risques et défis	83

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Introduction	86
Nouvelles approches de la régulation des systèmes de stockage de l'énergie	
Considérations clés lors de l'évaluation et de l'élaboration des règlements sur les systèmes de stockage d'énergie (SSE)	87
Évaluer les exigences des règlements pour les SSE	91
Risques et défis	94
	98

PLANIFICATION

Introduction Contexte de planification	
Types de plans	100
Processus de planification de haut niveau	101
Risques et défis	102
S'en tenir au plan	103
	106

PASSATION DE MARCHÉS

Approches de passation de marchés pour les SSE	115
Risques et défis	

CONTRACTUALISATION

Introduction	122
Offre	127
Contrats	130
Considérations clés Contrats EPC	141
Contrats de services	143
Accords de financement	147

DURABILITÉ

Considérations environnementales	151
Considérations relatives au développement économique	153
Considérations relatives à la fin de vie	155
Considérations sur le genre et l'inclusion	156
Considérations de sécurité	157

ACRONYMES

GLOSSAIRE

Introduction

Contexte

Les marchés de l'électricité du monde entier connaissent un changement historique dans la manière dont l'énergie est produite, commercialisée et consommée. Cette dynamique stimule également l'innovation dans la conception technologique, le financement et la structuration juridique des réseaux électriques. Sous l'effet conjugué de l'importance accrue accordée à l'accès à l'énergie, de la chute des prix des énergies renouvelables, de l'attention accrue portée à l'efficacité énergétique et des préoccupations liées au changement climatique, la transition énergétique actuelle représente à la fois un défi et une opportunité pour les divers acteurs des marchés de l'électricité.

Le stockage de l'énergie est l'une des clés de l'avenir du secteur de l'électricité, qui peut être conçu pour être plus flexible et prévisible en termes de coûts d'exploitation et de flux de revenus permettant d'amortir les coûts d'investissement. Ces dernières années, de nombreuses technologies de stockage ont vu le jour, permettant un stockage de l'énergie de courte durée et à réponse rapide, ainsi que des applications de plus longue durée capables de déplacer économiquement l'énergie vers des périodes de forte demande saisonnière, comme les mois d'été brûlants, ou de faible approvisionnement, comme les périodes de sécheresse. Tout indique que de nouvelles technologies de stockage continueront à voir le jour.

Avec la prolifération des technologies d'énergie renouvelable, le stockage de l'énergie peut également jouer un rôle dans la décarbonisation des réseaux, car il permet aux technologies de production d'énergie renouvelable variable (ERV) d'atteindre un niveau de part du réseau électrique total qui, par le passé, n'était pas techniquement réalisable. Les solutions de stockage d'énergie peuvent fournir des taux de rampe quotidiens flexibles pour les énergies renouvelables, équilibrer les changements de capacité électrique en cas d'anomalies météorologiques, optimiser la production d'énergies renouvelables pour obtenir un retour maximal pendant les périodes de pointe, et améliorer les opérations lorsque ces solutions s'intègrent aux actifs existants pour bénéficier à l'ensemble des opérations d'un réseau électrique.

Le Manuel

L'adoption croissante des systèmes de stockage de l'énergie (SSE) est un parfait exemple de la coexistence de défis et d'opportunités dans la transition énergétique actuelle. Les systèmes de stockage d'énergie sont de plus en plus capables de fournir, et dans certains cas d'améliorer, les services énergétiques pour les réseaux des services publics, les clients derrière le compteur et les mini-réseaux à des prix de plus en plus compétitifs. Dans le même temps, le large éventail de technologies, d'échelles, de coûts et d'utilisations des systèmes électriques et électroniques représente un défi important pour les services publics à la recherche de valeur, les développeurs à la recherche de profits et les régulateurs qui cherchent à maintenir l'accès à une énergie abordable et fiable pour la partie prenante la plus importante dans cet espace, le client.

Nous espérons que ce manuel tirera parti de ce moment unique dans l'évolution du stockage de l'énergie. Jamais auparavant dans l'histoire des systèmes électriques il n'a été possible de stocker l'électricité avec la taille, le coût et la vitesse actuellement réalisables. Alors que les réseaux deviennent plus intelligents et que les solutions hors réseau se multiplient, le stockage de l'énergie peut être utilisé pour surmonter les obstacles techniques des solutions énergétiques traditionnelles. Plus important encore, si l'avenir du rôle du stockage de l'énergie sur le marché n'est pas certain, l'expérience collective est suffisante (à la fois dans le monde entier et au sein de notre communauté d'auteurs) pour donner un aperçu significatif des meilleures pratiques pour le développement des systèmes de stockage de l'énergie aux niveaux technique, financier et juridique.

Le stockage de l'énergie est un outil puissant qui peut modifier les voies d'accès à l'énergie suivies par les décideurs du secteur. Comme c'est le cas pour tout outil, il est essentiel d'avoir une connaissance fondamentale des utilisations, des principes de base, des risques et des avantages. Ce manuel a pour but de fournir au lecteur une vue d'ensemble de chacune de ces questions clés concernant le stockage de l'énergie, d'une manière équilibrée qui ne préconise pas, mais plutôt habilite les décideurs à tous les niveaux du marché de l'électricité à prendre des décisions plus éclairées lorsqu'ils évaluent cette technologie émergente.

Guide du Manuel

À qui s'adresse ce manuel ?

Il est important d'avoir une connaissance générale des différents types de SSE, car la technologie et ses diverses applications n'ont pas encore été bien comprises par les praticiens du secteur de l'électricité en raison de la rapidité des changements. Cet ouvrage vise à présenter à ces praticiens certaines des nouvelles capacités des systèmes électriques et électroniques et la manière dont elles peuvent être financées dans les sphères publiques et privées.

Les praticiens peuvent être des fonctionnaires, des régulateurs, des services publics, des services d'approvisionnement, des banquiers, des responsables d'institutions de financement du développement (IFD), des promoteurs et des juristes travaillant dans le secteur de l'électricité. Ces groupes, entre autres, sont censés tirer de ce manuel des concepts et des applications clés du stockage de l'énergie qui peuvent être utilisés pour commencer à planifier l'intégration du stockage dans leurs contextes respectifs en évaluant les besoins de leurs systèmes, l'état de leurs politiques et de leurs réglementations, et les options disponibles. Grâce à ces informations, les lecteurs visés termineront idéalement cet ouvrage en maîtrisant mieux le sujet et en étant plus à l'aise.

Quel est le champ d'application de ce manuel ?

Ce manuel présente les pratiques établies et les évolutions récentes dans les domaines de la réglementation, de la politique, de la planification, du financement et de la passation de marchés pour soutenir l'ESS, ainsi que les risques, les défis et les considérations relatives à la durabilité.

En outre, ce manuel fournit des exemples de la manière dont la réglementation peut être adaptée aux SSE, ainsi qu'une liste détaillée de cas d'utilisation qui décrivent comment un SSE peut être utilisé. Ces cas d'utilisation peuvent être combinés pour créer encore plus de valeur, et plusieurs études de cas sont fournies à titre d'exemple.

Ce manuel ne couvre pas en profondeur les technologies SSE spécifiques et ne prétend pas non plus fournir un résumé complet de tous les points

saillants liés au stockage de l'énergie. Il part du principe que le lecteur possède des connaissances générales sur les réseaux électriques et qu'il se concentre sur le stockage de l'énergie. Toutefois, ce manuel décrit de nombreuses caractéristiques des différentes technologies qui doivent être prises en compte lors de la sélection d'une technologie ou de la préparation d'un appel d'offres pour la sélection de ces systèmes. Il fournit également un résumé des points que les auteurs considèrent comme particulièrement importants lorsqu'ils envisagent le stockage de l'énergie.

Qui sont les auteurs ?

Les auteurs représentent un ensemble diversifié de praticiens du secteur de l'énergie au sens large, comprenant des fonctionnaires, des ingénieurs, des juristes, des universitaires et des financiers. Ce manuel vise donc à rendre compte de leur expérience et de leurs connaissances pratiques collectives plutôt que de celles d'un groupe industriel, d'un praticien ou d'une organisation en particulier. L'ouvrage a été préparé dans le cadre d'un processus de rédaction en collaboration qui a permis de dégager des idées qui, dans l'ensemble, étaient plus importantes que celles d'un seul individu. Comme indiqué tout au long du texte, le développement de projets de production d'énergie comporte des avantages supplémentaires ainsi que des complexités lorsqu'il inclut le stockage ou lorsqu'il le distribue sur un réseau. Les différents domaines de spécialisation des auteurs ont permis au manuel de présenter ces complexités dans un format digeste tout en énumérant et en catégorisant les avantages inhérents à la technologie et la manière dont elle peut optimiser la création de valeur et les économies de coûts. Les auteurs ont participé à la rédaction et à l'édition de ce manuel à titre gracieux et sont encouragés par le fait que sa publication permettra de mieux comprendre le stockage de l'énergie, son adoption et son utilité potentielle pour les marchés et la société.

Comment ce livre s'inscrit-il dans la série *Comprendre* ?

Ce manuel est le sixième de la série *Comprendre* publiée par Power Africa. Il fait référence aux autres manuels, qui sont largement disponibles sous forme imprimée et électronique, en indiquant généralement qu'un concept ou un domaine a été expliqué de manière plus complète dans l'un des autres ouvrages. Dans ce cas, le sujet ne sera pas expliqué en détail et l'on supposera que le lecteur, s'il n'est pas suffisamment familiarisé avec le sujet, peut se référer aux manuels concernés.

Comment ce manuel a-t-il été élaboré ?

Le manuel a été produit en utilisant la méthode *Book Sprint* (www.booksprints.net) qui permet la rédaction, l'édition et la publication d'un produit complet en seulement cinq jours. Notre voyage a

commencé par une discussion animée et s'est rapidement transformé en un rythme de rédaction effréné, avec des interruptions occasionnelles pour l'introduction d'idées brillantes et de points de vue critiques. Certains sujets ont fait l'objet d'un consensus surprenant et d'autres d'un débat inattendu. Le résultat est un produit qui reflète ce travail d'équipe plutôt que les opinions personnelles des auteurs ou des institutions qu'ils représentent.

Les auteurs souhaitent remercier Barbara Rühling, animatrice du Sprint du livre, pour ses conseils patients et son leadership inébranlable tout au long du processus de rédaction, qui a duré près de 75 heures. Les auteurs souhaitent également remercier Henrik van Leeuwen pour avoir transformé nos gribouillis précipités en illustrations magnifiques et significatives. Nous tenons également à saluer le travail inlassable de Raewyn Whyte et Christine Davis (relectrices), membres du personnel à distance de BookSprints.

Les auteurs souhaitent remercier les personnes et les institutions suivantes qui ont contribué à orienter le dialogue afin de dégager un consensus sur la nécessité de ce manuel : Megan Taylor (Power Africa) ; Gadi Taj Ndahumba (Facilité africaine de soutien juridique) ; Stephen Gardner (Programme de développement du droit commercial). La conceptualisation du manuel sur la passation de marchés pour les projets énergétiques a fait l'objet d'une planification et d'un développement considérables. En particulier, nous remercions vivement Elizabeth Clinch et Lydia Hollingsworth (CLDP). Les auteurs souhaitent également remercier le généreux financement et le soutien logistique du programme Power Africa de l'Agence des États-Unis pour le développement international et de la structure africaine de soutien juridique.

Comment puis-je utiliser ce manuel ?

Afin de poursuivre la tradition de partage des connaissances en libre accès qui est au cœur de la série Power Africa Understanding, ce manuel est destiné à refléter la nature dynamique du processus Book Sprint et à servir non seulement de référence mais aussi de point de départ pour d'autres discussions et travaux d'érudition. Le manuel est publié sous la licence internationale Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 (CC BY NC SA). En choisissant cette licence de

publication, toute personne est invitée à copier, extraire, retravailler, traduire et réutiliser le texte à des fins non commerciales sans demander l'autorisation des auteurs, à condition que l'œuvre qui en résulte soit également publiée sous une licence Creative Commons. Le manuel est initialement publié en anglais, avec des éditions en français et en portugais qui suivront bientôt. Le manuel est disponible en format électronique à l'adresse cldp.doc.gov/Understanding, et en format imprimé. Il peut être utilisé comme ressource interactive en ligne. De nombreux auteurs se sont également engagés à travailler au sein de leurs institutions pour adapter ce manuel afin qu'il serve de base à des cours de formation et à des initiatives d'assistance technique.

Salutations distinguées,
Les auteurs

Mohamed Badissy

Professeur assistant
Penn State Dickinson Law (États-Unis)

Seth Doughty

Collaborateur
McDermott Will & Emery (États-Unis)

Nnaemeka Ewelukwa

Directeur général / administrateur exécutif
de Nigerian Bulk Electricity Trading PLC
(Nigéria)

Joseph Hallahan

Spécialiste des données énergétiques
Agence américaine pour le
développement international (USAID)
(États-Unis)

Ryan T. Ketchum

Associé
Hunton Andrews Kurth
(Royaume-Uni)

Pramod Kokil

Ingénieur en
mécanique Central
Electricity Board
(Maurice)

Mohammed Loraoui

Avocat-conseiller
Ministère du Commerce des États-
Unis (États-Unis)

Gadi Taj Ndahumba

Chef du secteur de l'électricité
Facilité africaine de soutien juridique
(ALSF) (Afrique du Sud)

Tshegofatso Neeuwfan

Chef d'équipe adjoint
Programme énergétique de l'USAID en
Afrique du Sud (SAEP) (Afrique du Sud)

Frank Spencer

Chef du déploiement
Bushveld Energy (Afrique du Sud)

Omar Vajeth

Chargé d'investissement
Banque africaine de développement
(Afrique du Sud)

Frederic Verdol

Ingénieur principal en électricité
Banque mondiale (Afrique du Sud)

Silvester Wayiti

Directeur exécutif
CENORD (Namibie)

CAS D'USAGE

Introduction

Lorsque l'on envisage des applications de stockage dans le contexte d'un marché particulier, il est nécessaire de comprendre les différents services qui peuvent être fournis et les différents cas d'utilisation pour chacun d'entre eux. En raison du nombre de services et de types d'utilisateurs, les systèmes de stockage d'énergie (SSE) sont souvent considérés comme des actifs complexes. La quantité d'avantages potentiels qu'un seul système de stockage peut fournir ne devrait pas submerger les clients ou les gestionnaires de réseau, car ces services ou cas d'utilisation peuvent être catégorisés et articulés. Ainsi, en fonction des besoins et des contraintes, l'entité chargée d'évaluer la viabilité d'une solution de stockage doit évaluer les différentes technologies de stockage de l'énergie et les différents services, fonctions et valeurs offerts.

Certains des cas d'utilisation présentés ci-dessous conduisent à des opérations similaires des SSE. Bien que ces opérations des SSE puissent sembler similaires, elles répondent à des besoins différents.

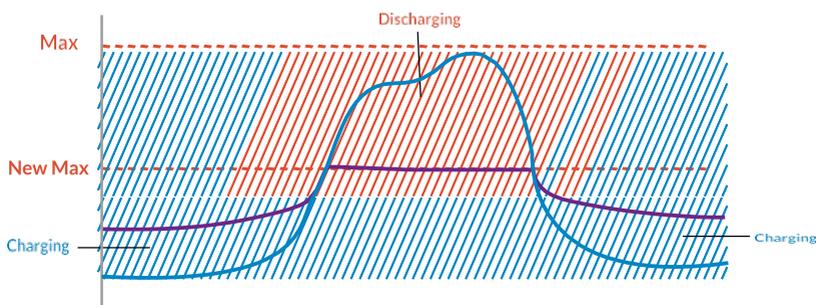
Les cas d'utilisation ont été classés en trois catégories, à savoir les services de capacité, les services énergétiques et les services auxiliaires. Il convient de noter que ces listes ne sont en aucun cas exhaustives et que de nouveaux cas d'utilisation apparaissent régulièrement

Services de capacité

En ce qui concerne les SSE, les services de capacité sont les applications par lesquelles un SSE aide à maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité dans un système donné. Le point d'équilibre varie en fonction de l'évolution de la consommation d'électricité des différents clients et de l'ajustement de la production des centrales électriques, ou en fonction des défaillances du réseau.

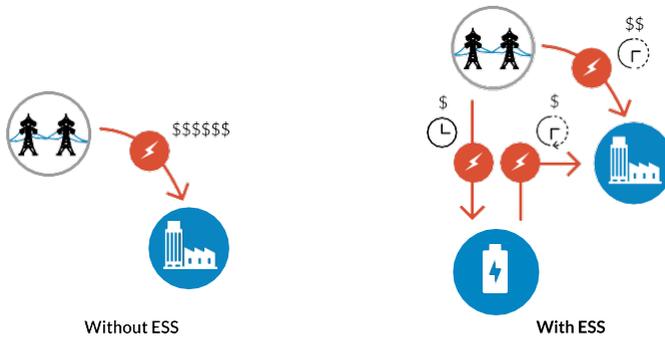
Réduction des pics

Pour se préparer à l'augmentation de la demande d'électricité, de nombreux planificateurs et exploitants de réseaux construisent continuellement de nouvelles capacités de production pour répondre à l'augmentation du pic de leur courbe de demande. Cependant, il est possible de réduire la demande maximale globale du système en chargeant les actifs de stockage pendant les périodes de faible demande, puis en les déchargeant stratégiquement pendant les périodes de pointe. Au niveau du système, cette approche permet effectivement de "réduire" le sommet de la courbe de la demande et de réduire le besoin d'actifs traditionnels qui ne fonctionnent que pendant les périodes de pointe.



Le SSE permet de réduire le pic maxi

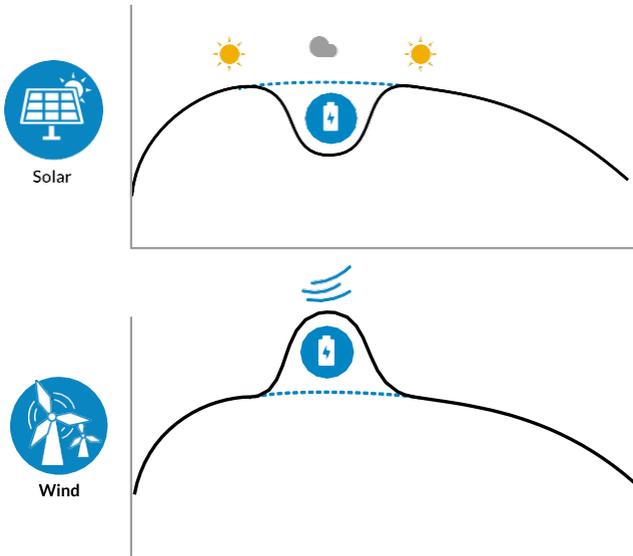
Au niveau de l'utilisateur final, les points de charge importants tels que les usines et les centres de données peuvent faire l'objet d'une notification de frais de demande maximale. Ces redevances sont payées aux services publics pour réserver le droit à un niveau de demande maximum planifié dont le client pense avoir besoin pour ses activités. Pour réserver ce droit, une redevance fixe est souvent exigée par le service public en plus des autres frais liés à la consommation d'électricité. L'utilisation d'actifs de stockage peut permettre aux gros consommateurs d'écarter la pointe de leur demande d'électricité, réduisant ainsi ces frais fixes tout en conservant le même niveau de consommation globale.



La redevance de demande maximale est réduite en raison de l'utilisation de SSE

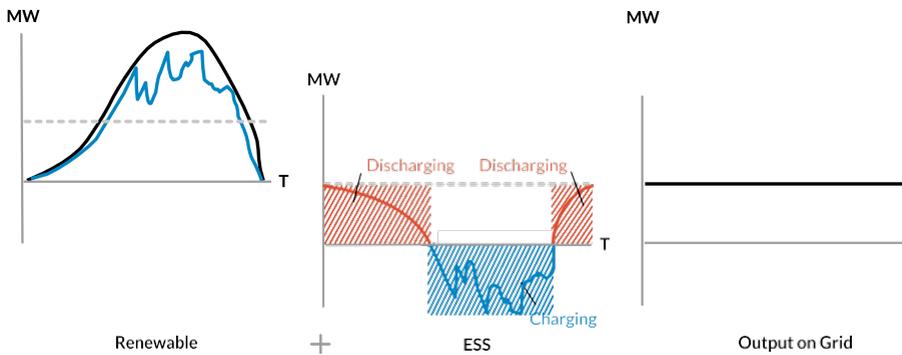
Raffermir les capacités

Alors que la pénétration des énergies renouvelables augmente dans la plupart des réseaux électriques, un problème fréquent est que la plupart des centrales solaires d'une même région commencent à produire simultanément lorsque le soleil se lève ou que la production des éoliennes commence à diminuer au moment où le vent s'arrête.



La capacité des énergies solaire et éolienne est rendue plus prévisible/ferme

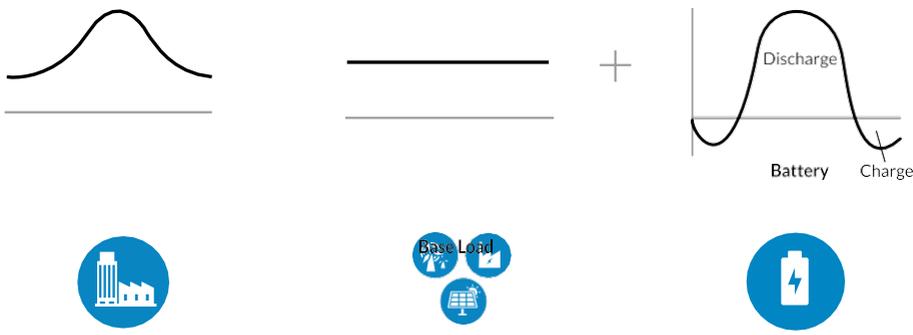
Au cours de ces montées et descentes, un SSE peut être utilisé pour fournir un taux d'augmentation ou de diminution régulier, laissant le temps aux équipements de production de monter en puissance ou de réduire leur production sans affecter la stabilité du réseau. Par ailleurs, le SSE peut également couvrir les baisses ou les pics de capacité jusqu'à ce que les actifs renouvelables reviennent aux niveaux opérationnels prévus. Cela permet d'éviter toute modification brutale de la qualité globale de l'électricité et d'obtenir une capacité ferme à partir d'actifs de production par ailleurs variables.



Capacité ferme créée à partir d'énergies renouvelables variables et de SSE

Suivi de la charge

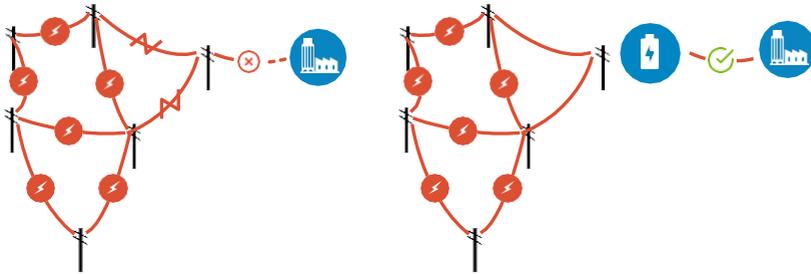
Une autre application de SSE consiste à permettre aux actifs de production de base de suivre des profils de demande très dynamiques qui changent plus rapidement que les centrales électriques traditionnelles ne peuvent le faire. En rechargeant toute production excédentaire, le système SSE permet aux centrales de base de fonctionner à un facteur de capacité élevé bien avant que la charge n'augmente pour correspondre à leur production. Elles peuvent également répondre à une demande temporairement élevée grâce à la décharge simultanée du stockage et à une production de base soutenue. En effet, cela permet au profil de production de base de rester relativement plat et de fonctionner à un niveau d'efficacité optimal, tandis que le SSE suit les pics et les creux de la demande lorsqu'elle fluctue autour de ce niveau. Une application similaire peut être fournie avec une grande unité de stockage ou une série d'unités distribuées plus petites qui suivent une demande régionale plus importante, souvent appelée régulation de zone. Cela permet d'accroître la flexibilité et l'efficacité des actifs existants du réseau qui intègrent des SSE.



Suivi de la charge de stockage pour une efficacité optimale de la production

Congestion du réseau

Des niveaux élevés de demande peuvent solliciter des lignes ou des nœuds individuels d'un réseau électrique, créant une congestion du réseau qui peut entraîner une augmentation des pertes de lignes, voire des coupures de courant. Avant l'apparition des systèmes de production d'énergie électrique à l'échelle du réseau, de nouvelles lignes de distribution et/ou sous-stations étaient construites pour fournir d'autres voies d'acheminement de l'électricité et pour désengorger les couloirs à fort trafic du réseau. Grâce aux systèmes de transport et de distribution d'électricité distribués sur le réseau de transmission et de distribution, il est possible de réduire cette congestion et d'optimiser les flux d'électricité dans l'infrastructure existante du réseau.



Le SSE permet à un réseau autrement encombré de fournir une charge

Report T&D

Un autre service de capacité important que les SSE peuvent fournir est la possibilité pour les services publics de reporter les investissements de transmission et de distribution à grande échelle en investissant à la place dans des actifs de stockage stratégiquement placés. Les actifs de stockage peuvent permettre une charge supplémentaire sur les lignes électriques et les sous-stations du système, ce qui permet un facteur de capacité ou une utilisation plus élevée de ces actifs existants.



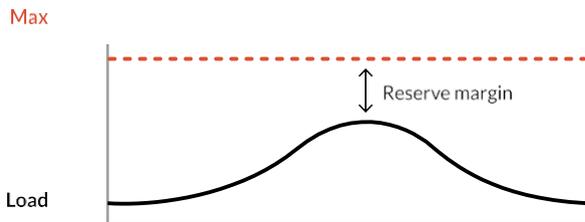
Clients supplémentaires raccordés sans modernisation de la sous-statio

Marge de réserve et réserve de filature

Les gestionnaires de réseau exigent que la capacité totale de production d'électricité d'un réseau comprenne une marge de réserve au cas où la demande dépasserait les niveaux maximums prévus. Cette marge de réserve peut être assurée par la construction d'installations de production conventionnelles supplémentaires. Cependant, les SSE sont en train de devenir une alternative courante.

La marge de réserve peut parfois être égale au double de la capacité nominale du SSE, car si la batterie se charge à pleine puissance, elle peut très rapidement se décharger à pleine puissance, ce qui multiplie par deux son effet sur le réseau.

En outre, les SSE peuvent également constituer une réserve tournante pour le réseau. Traditionnellement assurée par de grands générateurs rotatifs qui pouvaient être dépêchés pour fournir un tampon au réseau en cas de pics inattendus de la demande, les SSE peuvent désormais jouer ce rôle en tant qu'actif de réserve à réponse rapide, dans certains cas presque instantanée. Cette fonction agit essentiellement comme une réserve pour le réseau qui est inertielle dans son application.

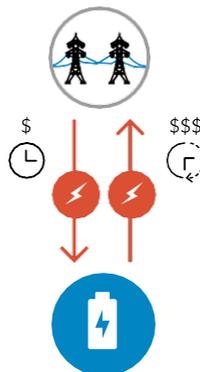


Services de l'énergie

Alors que les services de capacité répondent aux besoins de la demande d'un réseau ou d'un client, les services énergétiques se concentrent sur le déplacement, le remplacement, l'adaptation ou le profit de l'énergie (kilowattheures) produite par un actif de production. Ces services sont donc principalement axés sur la maximisation de la valeur de l'énergie qui circule dans un système au profit de divers acteurs du marché, tels qu'un gestionnaire de réseau, un consommateur, un producteur d'électricité ou même un négociant en énergie.

Arbitrage

L'arbitrage énergétique consiste à prendre l'énergie produite à un moment donné, à la stocker dans un SSE et à la décharger sur le réseau à un autre moment. Cette pratique est couramment utilisée pour l'arbitrage des prix lorsque les conditions du marché le permettent. Par exemple, lorsque le marché de l'électricité a des prix différents tout au long d'une période (horaire, quotidienne, annuelle, etc.), le propriétaire des SSE achètera de l'électricité pour charger l'actif de stockage pendant les périodes où les prix de l'électricité sont bas et la déchargera dans le réseau pendant les périodes où les prix sont plus élevés. Cette pratique peut également être adoptée par des opérateurs privés pour générer des revenus ou par des sociétés de distribution cherchant à accroître leur rentabilité en achetant de l'électricité à un prix hors pointe et en répondant aux besoins de leurs clients avec cette même électricité à

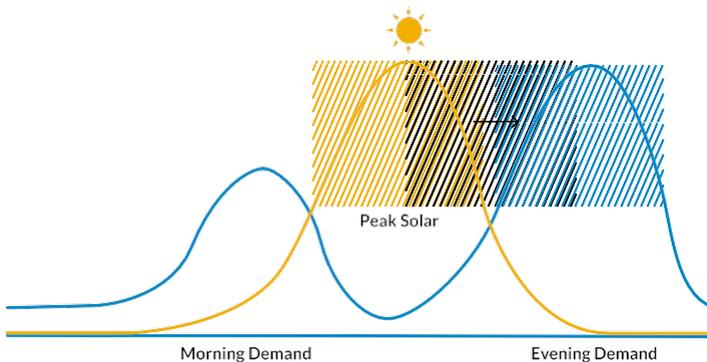


une période ultérieure de tarification de pointe.

Changement de génération

À l'instar de l'arbitrage, la production sur site associée au stockage peut chercher à déplacer l'énergie qu'elle produit au moment où elle est le plus nécessaire pour desservir la charge interne. Par exemple, une usine peut installer des panneaux solaires avec un système de stockage d'énergie pour sa consommation d'énergie. Les panneaux solaires fourniront de l'électricité pendant la journée pour répondre aux besoins énergétiques tout en chargeant la batterie. La batterie se décharge ensuite le soir et la nuit pour répondre aux besoins énergétiques pendant cette période. Ainsi, l'énergie solaire journalière excédentaire qui n'avait aucune valeur pour le consommateur sans le SSE est valorisée en étant transférée vers la nuit.

Le déplacement de la production peut également répondre à des besoins techniques non financiers. En période d'incertitude quant à la disponibilité de l'énergie, ou lorsque la production est insuffisante sur une série de minutes ou d'heures, les opérateurs des SSE peuvent prévoir ces éventualités en stockant l'énergie à un moment donné et en la libérant à un autre pour répondre à leurs besoins en matière de production. Cela est particulièrement utile dans les applications de sources de production d'énergie renouvelables variables.

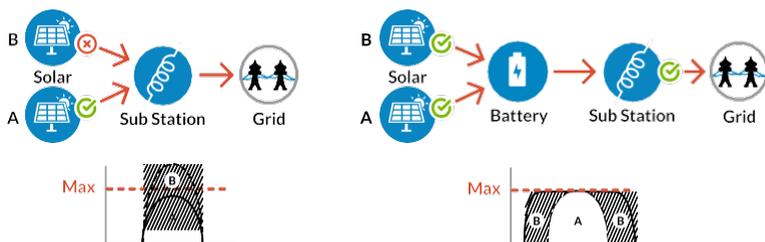


Changement de production d'énergie

Cette même pratique peut être appliquée sur différentes périodes (par exemple, des jours, des semaines ou des mois) avec des technologies de stockage de plus longue durée. La plus longue de ces applications peut permettre aux opérateurs de planifier les différences saisonnières dans les schémas de charge ou d'atténuer les pénuries d'approvisionnement prévues pour les mois à venir.

Pénétration des énergies renouvelables

Les actifs de stockage sont de plus en plus utilisés pour permettre des niveaux de pénétration des énergies renouvelables qui seraient autrement irréalisables dans les réseaux et mini-réseaux traditionnels. Le stockage permet non seulement aux opérateurs et aux clients de capitaliser sur l'énergie renouvelable qui aurait été réduite sans SSE, mais il peut également permettre aux ERV d'atteindre un pourcentage total plus élevé de la production. Un système qui a atteint sa limite opérationnelle en termes d'énergie variable peut envisager d'ajouter des actifs d'ERV associés à des systèmes de stockage d'énergie, qu'ils soient co-localisés ou répartis sur le réseau, car le système de stockage d'énergie permet des flux d'énergie plus prévisibles et plus fluides.



Davantage d'énergie solaire installée malgré la limitation des sous-stations

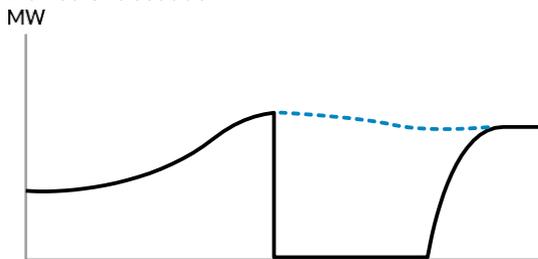
Utilisation des actifs

Les SSE peuvent être intégrés pour accroître l'efficacité des actifs de production conçus pour fonctionner de manière optimale à une charge élevée. Les unités de pointe, par exemple, sont mises en service lorsque la demande commence à dépasser l'offre des actifs de base qui produisent déjà à pleine capacité ou presque.

Cependant, les unités de pointe peuvent être inefficaces lorsqu'elles sont utilisées à leur niveau le plus bas. Les solutions de stockage peuvent retarder la nécessité d'activer les unités de pointe en déchargeant l'électricité stockée au cours d'une période antérieure. Cela permet aux unités de pointe de fonctionner à une capacité plus élevée à partir du moment où elles sont activées pour répondre à une demande déjà plus élevée qui peut même être augmentée en chargeant la batterie à ce moment-là. En se concentrant sur l'efficacité des actifs existants, SSE peut produire divers avantages tels que la limitation du temps pendant lequel une centrale électrique fonctionne à faible capacité, ce qui à son tour améliore la consommation de carburant et diminue les émissions de carbone qui y sont associées.

Alimentation de secours

L'alimentation de secours est un service énergétique courant de systèmes de production d'énergie électrique. Lorsqu'elles sont dimensionnées pour répondre à la charge d'un site individuel ou d'un client, les installations de stockage peuvent alimenter les opérations en cas de déconnexions inattendues du réseau dues à des conditions météorologiques extrêmes, à des délestages ou à des coupures de l'ensemble du réseau. Les actifs de stockage peuvent continuer à alimenter des opérations complètes ou réduites jusqu'à ce que le service soit rétabli, ce qui permet d'atténuer des pertes financières qui, autrement, pourraient être importantes. Le stockage en tant qu'énergie de secours peut également faciliter le retour aux services du réseau en cas de panne totale, comme décrit plus en détail dans la section sur les services auxiliaires ci-dessous.



Le SSE fournit une alimentation de secours

— Grid - - - - Energy Storage System

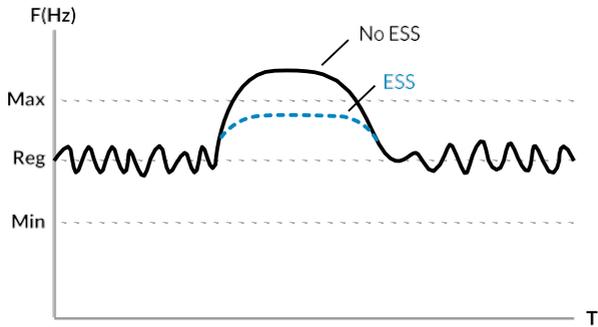
Services auxiliaires

Comme décrit ci-dessus, un SSE peut améliorer la capacité ou répondre aux besoins énergétiques. En outre, un système de stockage électronique peut également répondre à de nombreux cas d'utilisation très techniques et spécifiques. Ces services, connus sous le nom de services auxiliaires, peuvent ajouter de l'utilité et de la valeur à un actif de stockage.

Réponse en fréquence/nertie et régulation de la tension

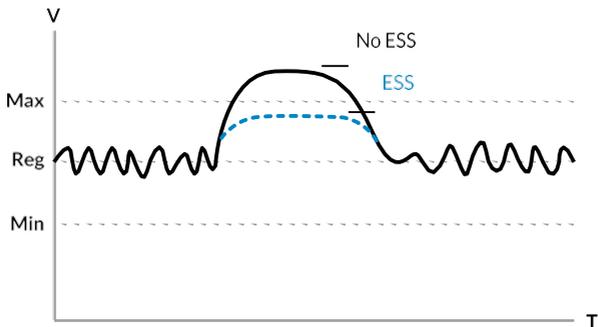
La fréquence du réseau devant être maintenue aussi constante que possible, l'un des principaux rôles des gestionnaires de réseau est d'équilibrer les entrées d'électricité des centrales électriques et les sorties vers les consommateurs. S'il y a trop de production, la fréquence commencera à augmenter. S'il y a trop de charge, la fréquence commencera à diminuer. Tout déséquilibre aura un impact immédiat sur la fréquence et l'opérateur du système doit donc être en mesure de réagir rapidement à des événements soudains. Le SSE peut fournir des services d'équilibrage de puissance à réponse rapide pour aider à stabiliser la fréquence.

L'inertie est une autre qualité importante liée au contrôle de la fréquence. La quantité d'inertie rotative des générateurs synchrones d'un système affecte la rapidité avec laquelle une modification de la charge ou de l'alimentation affecte la fréquence. Les systèmes d'onduleurs modernes, en tant qu'éléments d'un SSE, peuvent désormais fournir une telle réponse inertielle. Les exploitants de réseaux doivent assurer une réserve tournante, c'est-à-dire une capacité d'inertie en réserve pour gérer les variations soudaines de la demande ou de la production. Les SSE peuvent aider à fournir une réserve tournante en réponse à ces changements rapides, souvent presque instantanés.



Le SSE aide à réguler la fréquence

Les opérateurs de réseaux ont pour exigence générale de fournir une tension stable à l'utilisateur final. Cependant, la tension peut fluctuer en raison de plusieurs variables. Les systèmes électriques autonomes peuvent être utilisés pour influencer la tension afin d'assurer une meilleure stabilité. Ainsi, le SSE peut fournir une tension et une fréquence stables pour une bonne qualité de l'énergie électrique.



Le SSE aide à réguler la tension

Énergie réactive

L'énergie réactive, qui peut être considérée comme un attribut de qualité de l'électricité, est une composante essentielle du système énergétique car elle assure un transport fluide de l'électricité à travers le réseau et peut être utilisée par l'opérateur du système pour réguler la tension. Bien que cela n'augmente pas la quantité d'énergie consommée au point final, si un consommateur consomme de la puissance réactive, cela augmente les pertes dans le système. Les SSE peuvent consommer ou fournir de la puissance réactive en fonction des besoins, limitant ainsi ces pertes et facilitant la régulation de la tension pour l'opérateur du système.

Correction du facteur d'alimentation

Les consommateurs sont généralement pénalisés lorsqu'ils prélèvent de la puissance réactive. La mesure utilisée pour quantifier la quantité de puissance réactive prélevée s'appelle le facteur de puissance. Un facteur de puissance de 1 signifie qu'il n'y a pas de puissance réactive, et 0 signifie qu'il y a 100 % de puissance réactive. Les SSE peuvent être utilisées pour fournir de la puissance réactive afin de corriger le facteur de puissance comme souhaité.

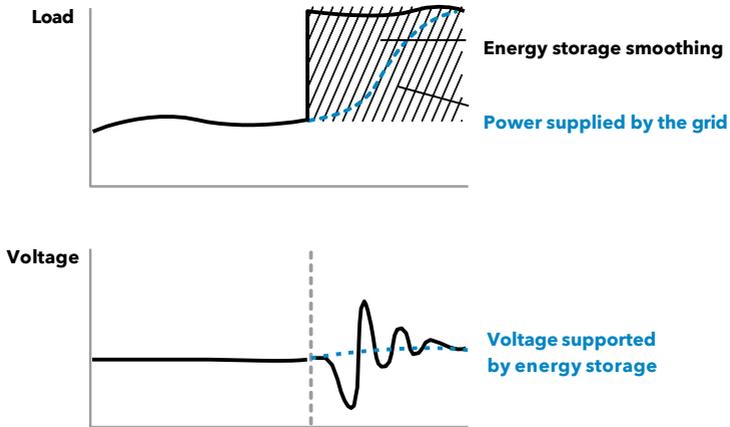
Contrôle de la cadence

Le taux de rampe est le terme utilisé pour décrire la vitesse à laquelle la demande augmente ou diminue au fil du temps. Plus la courbe est raide, plus il est difficile pour les opérateurs du système de répondre au rythme de la variation de la demande, car historiquement l'infrastructure du réseau comprend beaucoup de production de base à réponse lente. Les SSE peuvent aider à contrôler les taux de rampe des centrales électriques conventionnelles en fournissant une capacité supplémentaire lors des variations de la demande et de l'offre.

Changements de la demande par étapes

Lorsqu'une augmentation ou une diminution soudaine de la demande, appelée variation par paliers, se produit à l'extrémité d'une longue ligne de transport ou de distribution de faible puissance, elle peut provoquer d'importantes fluctuations de tension qui peuvent être préjudiciables à l'équipement d'un réseau. Le SSE peut aider à atténuer les variations de

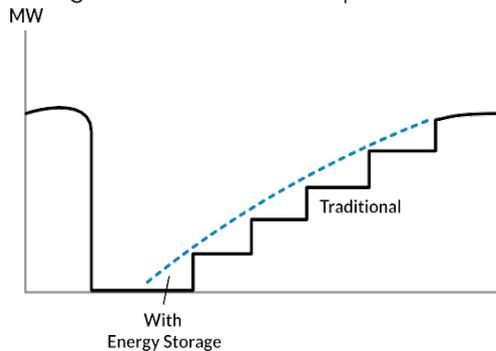
puissance et de courant subies par la ligne électrique, offrant ainsi une meilleure qualité de service.



Réduction des effets sur la tension de la variation de la charge

Démarrage noir

L'un des pires événements qui puisse arriver à un gestionnaire de réseau est une panne totale d'électricité ou un black-out. Le redémarrage du réseau après un tel événement est difficile, prend du temps et nécessite de remettre en ligne la production et la charge de manière stable et équilibrée. Les SSE peuvent fournir des services très souples pour faciliter le redémarrage du réseau en cas de panne



Le SSE aide les Démarrage Noirs

Descriptions des attributs technologiques

Les technologies SSE sont nombreuses et présentent toutes des forces et des faiblesses différentes, en fonction des cas d'utilisation requis. En outre, de nouvelles technologies et de nouveaux fournisseurs apparaissent constamment. Plutôt que d'essayer de décrire toutes les technologies disponibles, au risque de devenir presque immédiatement obsolète, ce manuel décrit les différents attributs des systèmes électriques et électroniques, ainsi que les avantages et les risques qui leur sont associés. Lors de la sélection d'une technologie de stockage pour un projet, toutes les technologies appropriées doivent être envisagées et modélisées correctement du point de vue des performances et des finances.

Efficacité des allers-retours

Le rendement aller-retour décrit l'efficacité d'une technologie de stockage au cours d'un cycle de charge unique suivi d'un cycle de décharge. Elle peut être influencée par l'intensité de l'exploitation du SSE en termes de taux de charge et de décharge et par la profondeur de la décharge au cours du cycle. Par exemple, les applications de batteries peuvent également être citées au niveau de la cellule, de la batterie CC ou du côté CA, avec ou sans pertes d'onduleur ou de transformateur, et avec ou sans pertes auxiliaires, telles que les systèmes de refroidissement, les pompes, les systèmes de gestion ou le SCADA. Par conséquent, lorsque l'on compare des technologies, il est important de s'assurer que l'on compare des attributs similaires avec des attributs similaires.

Dégradation et durée de vie

De nombreuses technologies de stockage souffrent de dégradation, ce qui signifie que la capacité d'énergie qu'elles peuvent contenir diminue dans certaines conditions ou au fil du temps. La cause la plus fréquente de dégradation provient de l'utilisation réelle du système de stockage. Cette perte de capacité est normalement fonction de la profondeur de décharge du système au cours de chaque cycle et de la rapidité de cette décharge en termes de taux

de charge et de décharge. Par exemple, certains systèmes peuvent perdre 20 % de leur capacité sur 2 000 cycles, si chaque cycle correspond à une décharge de 50 %, alors que le même système peut perdre 20 % de sa capacité sur 500 cycles si chaque cycle correspond à une décharge de 90 %. Ce taux de dégradation peut également s'accélérer avec le temps. Ainsi, l'augmentation (ou le remplacement) des composants du système peut être nécessaire pendant la durée de vie opérationnelle du système pour maintenir le même niveau de capacité, et ces coûts doivent être pris en compte dans les modèles financiers initiaux comparant les options technologiques de stockage.

En outre, certaines technologies peuvent également souffrir d'une dégradation accélérée ou d'une consommation d'énergie auxiliaire élevée si elles sont laissées en état de décharge ou de charge pendant une période prolongée.

Taux de charge/décharge maximal

Tous les systèmes de stockage ont une limite à la vitesse à laquelle ils peuvent être chargés ou déchargés, et leur efficacité est souvent fonction de cette vitesse. La vitesse maximale peut également être fonction de l'état de charge et, pour certaines technologies, de la température du système.

Temps de réponse

Ce terme décrit la vitesse à laquelle un système de stockage peut répondre à une demande d'alimentation ou de service. Il s'agit souvent du temps nécessaire au système pour passer de 0 à 100 % de puissance. Ce délai peut être de l'ordre de la milliseconde pour certains types de batteries, ou de l'ordre de l'heure pour certains systèmes de grande envergure et de longue durée. Il convient de noter qu'il peut être indiqué au niveau du système CC ou CA, car les technologies d'onduleur, de par leur conception, peuvent améliorer de manière significative les temps de réponse en CA.

Température

De nombreux systèmes de stockage ont des limites quant à la plage de température à laquelle la batterie peut être exploitée en toute sécurité. Dans des conditions climatiques extrêmes, un refroidissement ou un

chauffage ambiant supplémentaire peut être nécessaire pour maintenir le SSE dans les paramètres opérationnels corrects, et ces pertes supplémentaires au sein du SSE doivent être prises en compte. Ces pertes supplémentaires au sein de celui-ci doivent être prises en compte. Il convient de noter que même en cas de fonctionnement dans la plage de température nominale, la température peut affecter les performances de ce système en termes d'efficacité et/ou de taux de dégradation.

Temps d'arrêt pour maintenance

La maintenance planifiée et non planifiée peut entraîner de longs temps d'arrêt pour une partie ou la totalité du SSE, en fonction du temps de réparation et/ou de la disponibilité des pièces, ainsi que de la modularité des composants de la solution. Il convient d'en tenir compte lors de la sélection du SSE le plus optimal.

Segments du système

Les cas d'usage décrits ci-dessus montrent comment le stockage de l'énergie peut être utilisé pour remplir diverses fonctions utiles aux réseaux électriques. La présente section examine comment ces fonctions sont utilisées en pratique dans divers segments des réseaux électriques (que nous appellerons segments de réseau). Dans le segment du réseau des services publics, le client est un service public qui possède un réseau de transport (ou réseau). Dans le segment "On-Grid", le client est un producteur ou un consommateur d'énergie privé (ou public) dont les installations de production ou les charges sont connectées au réseau. Dans le segment hors réseau, le client est un producteur ou un consommateur d'énergie privé (ou public) dont la charge n'est pas connectée au réseau.

Segment des réseaux d'utilité publique

Dans le segment des réseaux d'utilité publique, un service public qui possède et exploite un réseau de transmission peut installer un système de stockage d'énergie dans une sous-station (ou à proximité) pour fournir divers services de capacité, d'énergie et auxiliaires tels que :

- ◆ Services de capacité ;
- ◆ Désengorgement du réseau ;
- ◆ Report d'autres investissements dans le réseau électrique ; et
- ◆ Alimentation de secours sur site dans une sous-station pour améliorer la fiabilité du réseau.

Ces systèmes de stockage d'énergie peuvent être détenus et exploités par la société de transport ou par un producteur indépendant de stockage d'énergie (PISE) qui fournira les services.

Segment sur réseau

Générateurs

Dans le segment sur réseau, un producteur peut installer un système de stockage d'énergie dans une installation de production pour fournir des services tels que :

- ◆ Changement de génération ;
 - ◆ Pénétration des énergies renouvelables ;
- et
- ◆ Services auxiliaires au réseau, à la fois lorsque l'énergie est produite et lorsqu'elle est déstockée.

Les SSE qui sont installés dans une installation de production sont généralement détenus et exploités par la même société que celle qui possède et exploite l'installation de production.

Charges

Les consommateurs d'énergie raccordés au réseau peuvent installer un système de stockage d'énergie sur leur site pour :

- ◆ Fournir une alimentation de secours à partir d'un système de stockage d'énergie situé sur le site ;
- ◆ Fournir une alimentation de secours de concert avec des installations d'énergie renouvelable ou des générateurs de secours situés sur le site, dont l'utilité et l'efficacité sont accrues lorsqu'ils sont associés à des systèmes de stockage d'énergie ;
- ◆ Réduire leur demande de pointe et, par conséquent, diminuer leurs frais de demande ; et
- ◆ Sur les marchés où les prix de l'énergie varient en fonction du moment où l'énergie est consommée, s'engager dans une forme d'arbitrage en achetant de l'énergie au réseau lorsque les prix de l'énergie sont plus bas et en stockant cette énergie pour l'utiliser lorsque les prix de l'énergie sont plus élevés.

Pour chacune des utilisations décrites ci-dessus, le réseau est considéré comme le principal fournisseur d'énergie, et les installations sur site sont considérées comme une solution de secours ou comme une source d'énergie pouvant être utilisée pour

réduire la quantité d'énergie consommée par le réseau. source d'énergie pouvant être utilisée pour réduire la quantité d'énergie consommée par le réseau. Si un consommateur installe des capacités de production et de stockage sur site capables de répondre à un pourcentage élevé de ses besoins, le réseau peut être considéré comme une solution de secours pour les systèmes de production et de stockage sur site. Les systèmes de stockage d'énergie situés sur le site d'un consommateur peuvent être détenus et exploités par le consommateur ou par une société de services énergétiques.

Segment hors réseau

Le segment hors réseau était autrefois dominé par les générateurs diesel à grande vitesse. Ces générateurs peuvent souvent fonctionner à des facteurs de charge faibles, ce qui diminue leur efficacité et augmente leurs besoins de maintenance.

Aujourd'hui, les systèmes de stockage d'énergie sont principalement utilisés dans le segment hors réseau pour le décalage temporel. En stockant l'énergie produite par des énergies renouvelables variables, ces systèmes de stockage d'énergie peuvent permettre aux systèmes hors réseau, tels que les mini-réseaux et les systèmes solaires domestiques, d'atteindre une disponibilité proche de 100 %. La combinaison des énergies renouvelables avec des générateurs diesel à grande vitesse et le stockage de l'énergie peut permettre à ces systèmes d'atteindre une disponibilité de 100 % avec des installations d'énergie renouvelable plus petites et un générateur plus petit qui peut fonctionner très rarement. La plupart des nouveaux micro-réseaux modernes, par exemple, associent les énergies renouvelables au stockage et ne nécessitent que quelques heures par semaine de soutien de la part d'un générateur diesel, si tant est qu'il y en ait un. En combinant les énergies renouvelables et les systèmes de stockage de l'énergie, les mini-réseaux peuvent atteindre un coût nivelé de l'énergie qui en fait souvent le moyen le plus économique de fournir une électricité fiable à de nombreux endroits isolés et mal desservis.

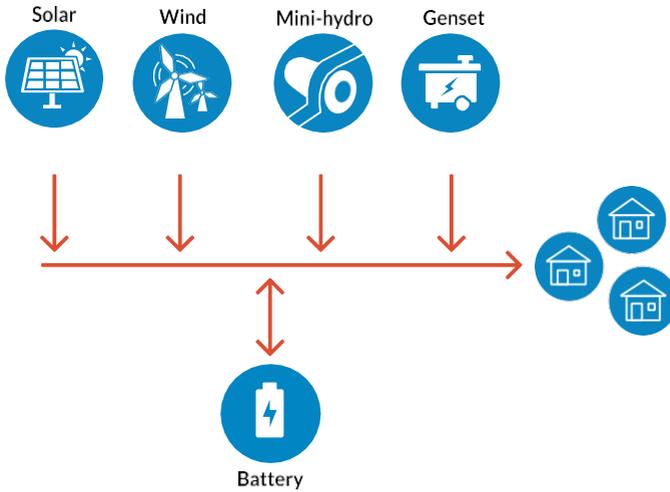


Illustration d'un micro-réseau avec de nombreuses sources de production et un SSE fournissant un petit réseau de distribution

Des cas d'usage aux flux de valeur

Comme nous l'avons vu, les projets de stockage de l'énergie peuvent avoir des objectifs variés pour les services publics et les consommateurs d'électricité. Sur certains marchés de l'électricité, ces diverses utilisations du stockage peuvent empiler des flux de valeur provenant de cas d'utilisation multiples. Les propriétaires de projets de stockage d'énergie peuvent chercher à obtenir un financement sur la base des flux de trésorerie anticipés ou des économies réalisées à partir de tout ou partie des éléments de cette chaîne de valeur. Le chapitre suivant explique en détail comment plusieurs services peuvent être combinés pour rendre plus viables les différents modèles commerciaux des systèmes de stockage d'énergie.

Illustration des Flux de Valeur

Introduction

Sur les marchés en développement, le déploiement des systèmes de stockage et d'énergie à l'échelle du réseau a commencé par l'association de systèmes de stockage et d'équipements de production d'énergie renouvelable. Dans certains cas, le SSE est ajouté aux actifs existants, mais il est de plus en plus souvent inclus dans la conception de nouveaux projets de production afin d'optimiser le profil de répartition et d'augmenter les bénéfices de l'électricité pour les clients finaux. Lorsqu'ils examinent la viabilité économique d'une telle installation colocalisée, les services publics et les développeurs se concentrent souvent sur un seul cas d'utilisation pour justifier l'investissement supplémentaire nécessaire pour les dépenses d'investissement supplémentaires du projet.

Comme les applications des différentes technologies SSE deviennent progressivement plus familières aux gestionnaires de réseau et aux propriétaires d'actifs, il est devenu courant de tirer davantage de valeur du SSE en l'utilisant pour fournir de multiples services d'énergie ou de capacité. Par exemple, les SSE privés initialement conçus et optimisés pour l'arbitrage tarifaire peuvent également être utilisés pour permettre une plus grande pénétration des énergies renouvelables en donnant aux infrastructures locales de transmission et de distribution la capacité d'intégrer des niveaux plus élevés de production d'énergies renouvelables variables. De son côté, le propriétaire privé peut également être engagé par contrat pour fonctionner selon un certain profil journalier qui contribue à réduire la capacité de pointe du système. Ces services supplémentaires ajoutent de la valeur à la fois au SSE et au système dans son ensemble, et les propriétaires privés peuvent être mieux rémunérés en ajoutant plusieurs flux de revenus, tels qu'une redevance fixe ou une redevance variable basée sur la capacité ou les niveaux de production.

Le secteur du stockage commence également à coupler ou "empiler" des services auxiliaires avec de multiples services d'énergie et de capacité afin de tirer davantage de valeur de ces mêmes actifs de stockage. Les gestionnaires de réseau, les clients à forte consommation et les services publics recherchent de nouveaux modèles et mécanismes permettant de rémunérer avec précision les propriétaires d'actifs de stockage pour ces services auxiliaires. Par exemple, il est possible, d'un point de vue opérationnel, de concevoir et d'exploiter la même centrale que celle décrite dans le paragraphe précédent pour qu'elle fournisse également des services

auxiliaires. Par exemple, il est possible, d'un point de vue opérationnel, que la même centrale décrite dans le paragraphe précédent soit conçue et exploitée pour fournir des services de régulation de fréquence à un réseau régional, pour fournir une alimentation de secours directe à un client local ou pour aider le service public national en cas de démarrage à froid.

Avec une analyse et une conception initiales appropriées, soutenues par l'utilisation d'un logiciel opérationnel robuste, les actifs de stockage de l'énergie peuvent mieux optimiser la valeur des actifs de production, réduire les coûts de l'énergie ou du système pour le client, et reporter ou annuler la nécessité de nouveaux investissements dans l'infrastructure.

Nous examinons ci-dessous plusieurs exemples concrets dans lesquels les systèmes de stockage intelligents peuvent être utilisés pour résoudre certains problèmes grâce à l'empilement des cas d'utilisation, ainsi que les avantages financiers que ces systèmes de stockage peuvent apporter.

Études de cas

Cas 1 : Client bénéficiant d'un tarif d'utilisation de l'heure derrière le compteur

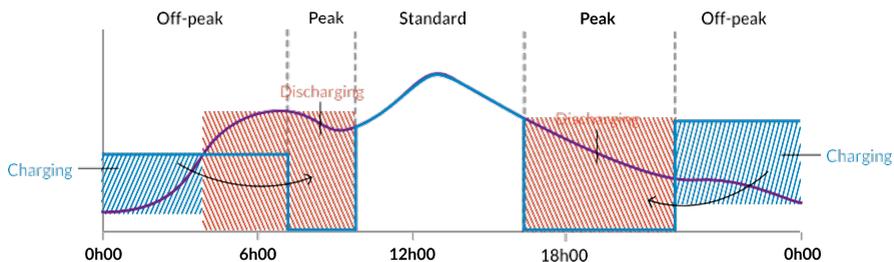
Les tarifs industriels comprennent souvent plusieurs frais liés à la capacité et à l'énergie. Prenons l'exemple d'un tarif statique qui comprend les éléments de coût suivants :

- ◆ Frais d'énergie en fonction de l'heure - Il s'agit de frais d'énergie (kWh) qui varient en fonction de l'heure de la journée ou du jour de la semaine. Un tel tarif pourrait comporter, par exemple, un tarif d'énergie de pointe élevé pour les heures de pointe (du lundi au vendredi, de 7 h à 9 h et de 17 h à 20 h), un tarif d'énergie hors pointe faible pour les heures de faible utilisation (du lundi au vendredi, de 20 h à 7 h, et tout le samedi et le dimanche), et un tarif d'énergie standard de niveau moyen pour toutes les autres heures.
- ◆ Redevances de capacité - Redevance pour la capacité maximale généralement utilisée au cours d'un mois, avec une redevance associée par unité de capacité utilisée.
- ◆ Redevances pour demande maximale notifiée - Redevance mensuelle fixe pour permettre une capacité maximale particulière qui peut être réservée (mais qui ne doit pas être utilisée).

Un client bénéficiant d'un tel tarif a la possibilité de réduire tous ces frais grâce à l'utilisation d'un SSE, éventuellement installé dans une centrale d'énergie renouvelable. L'installation d'une centrale solaire photovoltaïque (PV) d'autoconsommation (non exportatrice) derrière le compteur pourrait réduire la quantité d'électricité consommée pendant la journée et produire de l'électricité moins chère que si elle était achetée à la compagnie d'électricité. Toutefois, les avantages d'une telle installation seraient limités au pic de consommation de la mi-journée, lorsque le soleil est au rendez-vous. L'intégration d'un système ESS pourrait permettre les cas d'utilisation suivants :

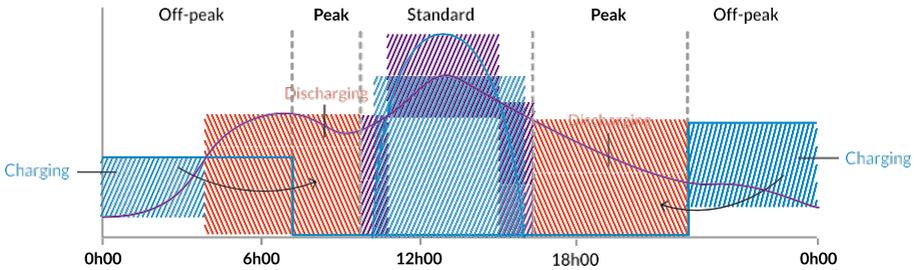
- ◆ Déplacement de la production - Le SSE peut réduire les coûts de l'énergie en chargeant l'électricité à faible coût pendant les heures creuses et en la déchargeant pendant les heures de pointe. Ainsi, plus

d'énergie en heures creuses et moins d'énergie en heures de pointe seraient achetées, ce qui entraînerait une économie nette. une économie nette. La différence entre les tarifs doit être suffisante pour justifier les coûts CAPEX et OPEX du SSE, ainsi que les pertes d'efficacité liées à l'aller-retour et la durée de vie prévue du système.



Le SSE décale l'énergie dans le temps pour réduire les coûts de pic

- ♦ Réduction des pics - Si le client a, par exemple, un pic court mais élevé qui se produit au moins une fois par mois (en réalité, il se produit presque tous les jours), le SSE pourrait également agir pour réduire cette charge de demande de pointe, en déchargeant pendant ces heures. En outre, si cela conduit à une nouvelle demande de pointe bien inférieure à la demande maximale notifiée, la redevance de demande maximale notifiée pourrait également être réduite, ce qui permettrait de réaliser des économies supplémentaires.
- ♦ Augmentation de la pénétration des énergies renouvelables - Si le client installe un système photovoltaïque plus important, cette énergie supplémentaire pourrait être stockée dans le SSE et déchargée à d'autres heures non ensoleillées, soit le soir/la nuit/le matin, soit en cas de nuage. Comme pour le transfert de production, il faudrait un écart de coût suffisant entre le coût de l'électricité solaire et le coût de l'électricité pour l'heure à laquelle l'énergie solaire est transférée, ainsi que les CAPEX, OPEX et caractéristiques de performance de la batterie.



Décalage temporel de l'énergie solaire

- ♦ Correction du facteur de puissance - Si le client a un mauvais facteur de puissance pour lequel la compagnie d'électricité le pénalise, le SSE peut l'aider à corriger ce problème.

Cas 2 : Service public avec une sous-station soumise à des contraintes de pic

Dans cet exemple, considérons un service public doté d'une sous-station de transmission alimentant un réseau de distribution où la demande de pointe atteint de plus en plus les limites de la sous-station et des lignes de transmission qui l'alimentent. L'option conventionnelle consisterait à planifier la modernisation de la sous-station et des lignes, ce qui pourrait représenter un coût important.

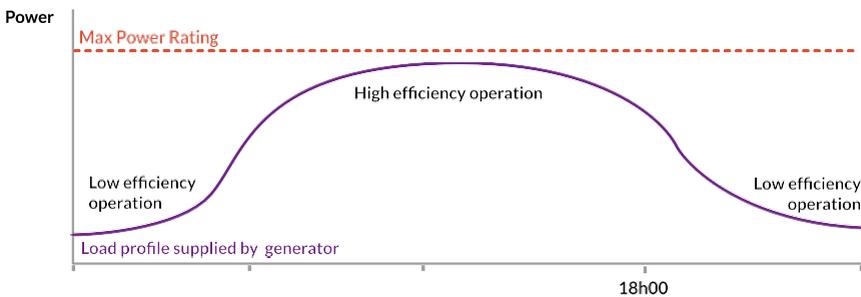
Une autre solution consisterait à déployer un SSE dans la sous-station. Cela permettrait à la sous-station de fournir de l'énergie à une nouvelle ligne de distribution sans avoir à moderniser l'infrastructure actuelle. Le SSE peut charger pendant les périodes de faible demande et fournir de l'énergie pendant les périodes de forte demande. À un niveau simple, le coût du SSE peut être comparé au coût de la modernisation de la sous-station/ligne (en tenant compte de la durée de vie des deux).

Le SSE pourrait empiler des services supplémentaires qui optimisent le réseau, tels que la régulation de la tension, la correction du facteur de puissance, le soutien transitoire de la tension de changement de charge, et pourrait également permettre l'intégration de la

production renouvelable variable au niveau de la sous-station.

Cas 3 : Consommateur hors réseau

De nombreux consommateurs hors réseau n'ont pas la possibilité de se connecter à l'infrastructure des services publics et fonctionnent souvent uniquement avec des générateurs diesel ou d'autres générateurs thermiques. Les générateurs sont généralement dimensionnés pour répondre à la demande de charge maximale et, par conséquent, peuvent fonctionner à des facteurs de charge faibles à différents moments de la journée en raison de la fluctuation des charges. Cela peut entraîner un manque d'efficacité et d'autres problèmes techniques avec le générateur.

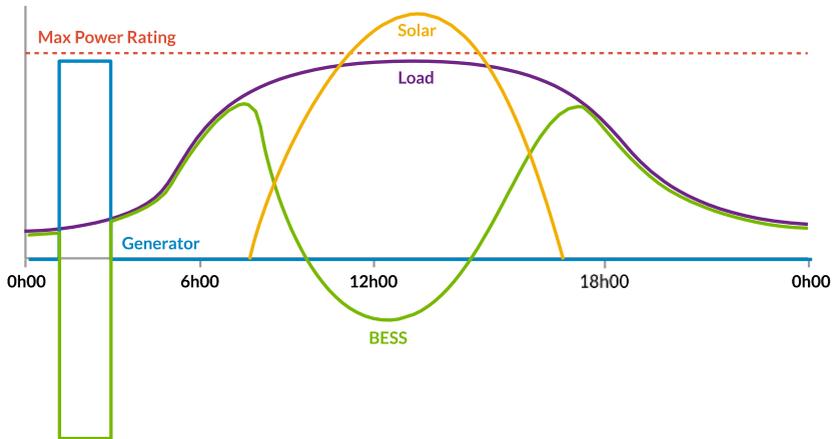


Charge hors réseau uniquement fournie par un générateur

Un client souhaitant ajouter une production d'énergie renouvelable, telle que l'énergie solaire photovoltaïque, pour réduire la dépendance aux générateurs thermiques, peut exacerber les problèmes liés au fait que le générateur fonctionne à faible facteur pendant de longues périodes de la journée. L'ajout d'un SSE au système permettrait d'ajouter de nombreux avantages au système électrique hors réseau existant, notamment :

- ◆ Le système photovoltaïque peut être plus grand que la charge, ce qui permet d'alimenter la totalité de la charge pendant la journée et de charger le SSE avec l'énergie supplémentaire. Pendant les périodes nocturnes, le SSE alimente la charge.
- ◆ Lorsque le générateur doit fonctionner, le SSE veille à ce que le générateur fonctionne à un facteur de charge efficace.

Power



La charge hors réseau est maintenant principalement fournie par un système PV + BSSE

Cas 4 : IPP sur réseau

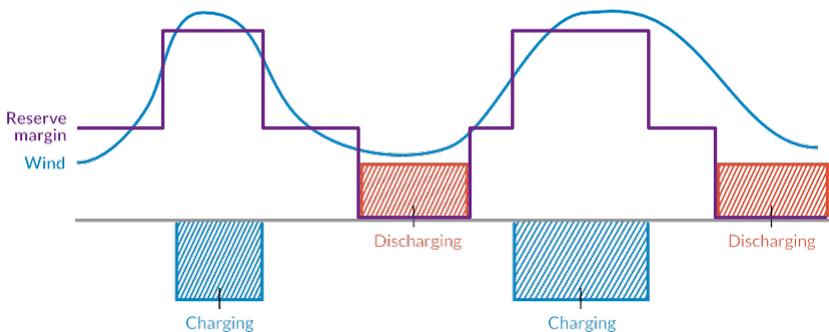
Les services publics et les investisseurs cherchent de plus en plus à se procurer de l'électricité par le biais d'un modèle d'entreprise IPP (décrit plus en détail dans le chapitre sur les modèles d'entreprise publics et privés). Les actifs de production traditionnels ont été développés dans le cadre de ce modèle, l'IPP étant souvent propriétaire et exploitant de l'actif et vendant la production au fournisseur. Lors de la construction d'actifs d'énergie renouvelable variable, le couplage avec le SSE pour l'optimisation de la production capturée et le moment de son utilisation peut maximiser les perspectives financières de l'actif en permettant plusieurs flux de revenus.

Dans le cas d'un nouveau site éolien ajouté à un petit réseau national par une IPP, il faut tenir compte du fait qu'un autre grand projet éolien a déjà été mis en service et que la part de l'éolien dans la production totale du bouquet énergétique national est proche de celle des technologies existantes. À mesure que la capacité éolienne variable augmente, le réseau vieillissant est mal adapté à la gestion de quantités importantes d'électricité qui varient au fil des jours et des mois. Cela entraîne des problèmes de fréquence et de tension du réseau qui, traditionnellement, pourraient être atténués par de nouveaux

investissements dans des infrastructures coûteuses.

Avec l'ajout du SSE dès la création du nouveau site éolien, la capacité éolienne et de stockage de l'installation peut être conçue et optimisée pour remplir de nombreuses fonctions.

- ◆ Arbitrage - Après avoir rempli ses obligations en matière de contrat d'achat d'électricité (CAE), l'IPP peut stocker l'électricité excédentaire produite pendant les heures creuses et la distribuer à partir du SSE pendant les heures de pointe afin de maximiser la rentabilité de l'installation.
- ◆ Marge de réserve - Étant donné que les SSE peuvent fonctionner comme des actifs distribuables, l'installation peut contribuer à la marge de réserve du service public national. Cela permet au service public de s'appuyer sur cette capacité disponible dans les périodes de demande presque maximale pour servir de tampon en cas de baisse inattendue de l'offre ou de pics de la demande.



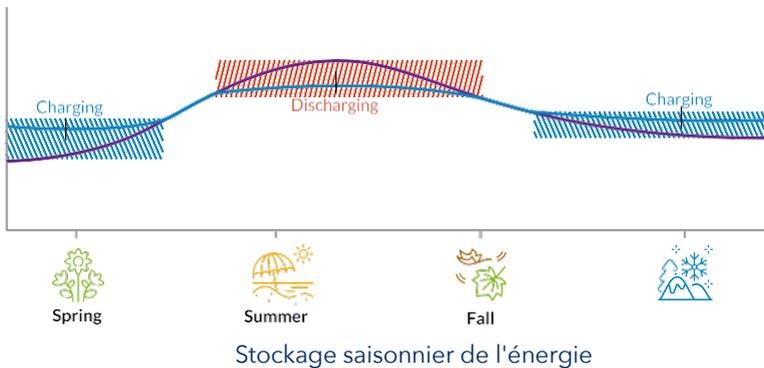
Le stockage permet à l'énergie éolienne de fournir une marge de réserve

- ◆ Pénétration des énergies renouvelables - En l'absence de SSE, l'opérateur du réseau pourrait ne pas autoriser l'utilisation d'énergies renouvelables plus variables sans procéder aux mises à niveau correspondantes de l'infrastructure du réseau. L'ajout d'un système de stockage sur le site éolien permet à l'IPP de développer le projet et d'aider le pays à atteindre un pourcentage plus élevé d'énergies renouvelables sur son réseau national et à réduire sa dépendance à l'égard des combustibles et des technologies traditionnels.

- ◆ Régulation de la fréquence et de la tension - Ce site peut fournir de nombreux services de renforcement du réseau grâce aux systèmes solaires photovoltaïques qui lui sont associés. Il peut vraisemblablement commercialiser des services tels que la régulation de la fréquence et le contrôle de la tension auprès de la compagnie d'électricité.

Cas 5 : Stockage saisonnier de l'énergie

Dans de nombreux pays où les profils saisonniers de l'offre et de la demande d'électricité sont très différents, la question se pose de savoir si l'énergie peut être déplacée à l'échelle de semaines ou de mois. Lorsque le besoin d'un tel transfert d'énergie est important, certaines technologies de stockage d'énergie de longue durée peuvent remplir ce rôle.



Prenons l'exemple d'un marché où les importations d'énergie pour une partie de la production de base ne sont pas contractées à des volumes fixes, mais achetées principalement sur le marché au comptant. En outre, ce même marché connaît des réductions saisonnières de la production des actifs hydroélectriques, l'autre source principale d'énergie de base, pendant les mois d'été, lorsque la demande régionale d'énergie est également la plus élevée. Lorsqu'il s'agit de trouver le meilleur moyen d'assurer la fiabilité et la rentabilité du système pendant ces mois, le service public peut envisager de construire une centrale électrique conventionnelle supplémentaire pour pallier les baisses d'approvisionnement prévues et inattendues. Une autre solution consisterait à acquérir un système de stockage d'énergie de longue durée par pompage, ce qui permettrait à la compagnie d'électricité d'atteindre un autre ensemble d'objectifs :

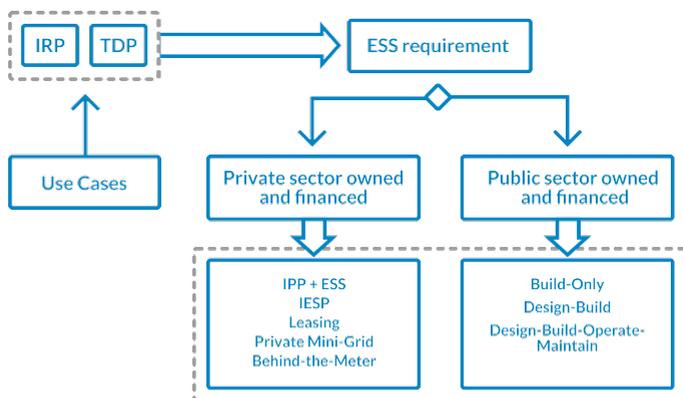
- ◆ Déplacement de la production - Le SSE de longue durée peut stocker l'énergie pendant des jours, des semaines ou des mois pour s'adapter aux modèles de demande que l'offre existante peut avoir du mal à satisfaire.
- ◆ Marge de réserve - Ce même actif peut servir de capacité de réserve pour le service public pendant les périodes où il ne ferait normalement que stocker de l'énergie en attendant sa décharge saisonnière. Si une période inattendue de forte demande survient et que les niveaux d'approvisionnement prévus risquent de devenir insuffisants, le service public peut faire appel au SSE de longue durée.
- ◆ Augmentation de la pénétration des énergies renouvelables - Un SSE de longue durée peut être associé au profil de charge prévisible d'une installation d'énergie renouvelable pour créer un profil de production de base.

Modèles d'entreprises publiques et privées

Introduction

Les systèmes de stockage d'énergie peuvent être déployés à la fois comme un système général avec une variété de rôles ou comme un composant dédié d'un projet d'énergie individuel. La question de savoir si le SSE est utilisé sur une base flexible ou dédiée est une question de discrétion qui reste entre les mains du propriétaire du système. Par conséquent, le modèle commercial d'un déploiement du SSE est d'une grande importance et peut être défini à la fois en termes de propriété et d'exploitation. Les choix effectués pour structurer le projet peuvent être aussi importants que la conception technique du système.

Ce chapitre présente les principaux modèles commerciaux pour les SSE et fait la distinction entre les modèles déployés par les acteurs publics et privés sur le marché de l'électricité. La principale différence entre un modèle public et un modèle privé est que le modèle public se concentre généralement sur l'acquisition d'un actif de stockage d'énergie spécifique, tandis que le modèle privé se concentre généralement sur la viabilité économique de l'actif de stockage d'énergie dans un système intégré ou autonome. La dernière section de ce chapitre présente également les différentes sources de capital financier qui peuvent être mobilisées pour financer l'acquisition d'un système de stockage d'énergie.



Aperçu des modèles d'entreprise publics et privé

Modèles d'entreprises publiques

Dans le cadre de ce chapitre, nous considérons tout SSE acquis par une entité gouvernementale ou parapublique comme un modèle d'entreprise "public". Dans la plupart des économies en développement, cet acteur public sera une compagnie d'électricité appartenant à l'État (en partie) ou soumise à une influence considérable de la part du gouvernement hôte (par le biais d'une politique ou d'une réglementation). Parmi les autres acteurs publics figurent les gouvernements infranationaux (État, région, municipalité, etc.) ou les groupes de citoyens/communautés (conseils de développement, districts scolaires, coopératives agricoles, etc.) Les modèles d'entreprise publique pour le SSE partagent plusieurs caractéristiques communes ; cependant, il existe des différences significatives qui résultent de l'acteur public particulier impliqué dans l'acquisition du SSE.

SSE appartenant aux services publics

Un gouvernement peut choisir d'intégrer les SSE dans le réseau électrique en les détenant directement et/ou en les exploitant par l'intermédiaire de la compagnie d'électricité. Les services publics acquièrent généralement des actifs de stockage d'énergie par le biais de leurs processus d'approvisionnement existants, qui peuvent nécessiter un appel d'offres pour un portefeuille d'actifs ou une négociation directe pour un système spécialisé ou un projet pilote. Dans les deux cas, comme indiqué dans le chapitre "Planification", le service public devra détailler l'emplacement, la conception, les performances et d'autres aspects pertinents de l'installation de stockage d'énergie afin d'attirer des soumissionnaires qualifiés. Après la passation du marché, le service public intégrera l'actif de stockage d'énergie dans ses activités existantes, bien que le degré de propriété et de contrôle puisse varier.

Dans le modèle d'entreprise appartenant au service public, le service public acquiert et possède directement le SSE et déploie cet actif pour répondre à un large éventail d'exigences en matière de production, de transport et de distribution. En outre, les services publics qui vendent de l'électricité au détail à leurs clients peuvent également utiliser un SSE

dans le cadre d'un système de gestion de la charge, pour répondre à des besoins de renforcement de la capacité ou pour utiliser d'autres services du SSE, comme indiqué dans le chapitre "Cas d'utilisation".

Il est important de noter que même si le SSE est détenu par le service public, le financement de l'actif acheté peut provenir de plusieurs sources, notamment les IFD, les agences de crédit à l'exportation et les prêteurs commerciaux. Étant donné que le service public devra satisfaire aux exigences de ces bailleurs de fonds en matière de prêts, le développement et la structure de propriété du SSE peuvent avoir un impact significatif sur la capacité à obtenir un financement. Un résumé des options de structuration qu'un service public peut employer lors de l'acquisition d'un SSE pour son utilisation est fourni ci-dessous.

A construire uniquement

Dans le modèle le plus simplifié, le service public prépare les spécifications de conception du SSE, puis achète la construction et l'installation du système sur le marché privé. Dans le cadre de cet appel d'offres, le service public demande souvent au fabricant du SSE de fournir une garantie sur les performances du système pendant une période définie. Hormis la garantie, le fabricant n'est pas directement impliqué dans le SSE, la compagnie d'électricité se chargeant de l'exploitation et de la maintenance. Dans ce modèle simplifié, il incombe également à la compagnie d'électricité de budgétiser le coût du système ou de trouver le financement nécessaire à son acquisition.

Étude de cas : Approvisionnement des services publics sur un modèle de construction uniquement

Projet de pompage-turbinage Ingula d'Eskom

Ingula est un projet de stockage d'énergie par pompage de 1 332 MW achevé en 2017. Il comprend quatre turbines de pompage réversibles de 333 MW et fournit à Eskom la production flexible dont elle a tant besoin à un moment où la pénétration des ERV augmente en Afrique du Sud. La construction du projet comprend deux barrages - les réservoirs supérieur et inférieur, une centrale électrique, deux tunnels qui transportent l'eau des réservoirs à la centrale électrique, des routes d'accès et des lignes de transmission. Pour produire de l'électricité en cas de forte consommation d'énergie, l'eau s'écoule du barrage supérieur vers le barrage inférieur. Le processus est inversé pendant les périodes de faible consommation d'énergie pour remplir le réservoir inférieur.

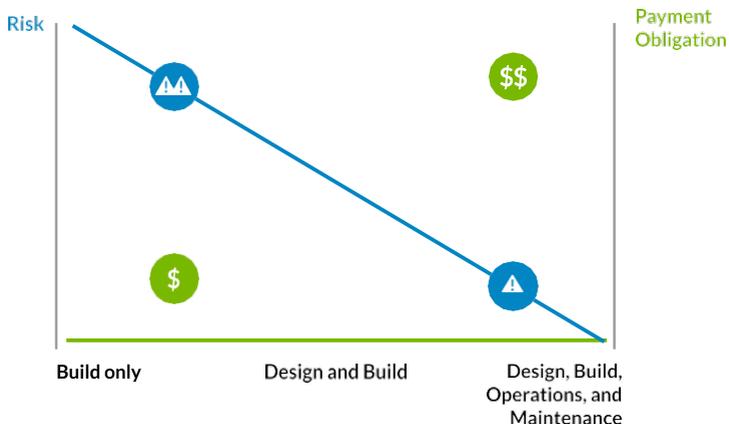
Ce projet met en évidence la nécessité de commencer à mettre en œuvre de grands projets hydroélectriques à un stade précoce afin de tenir compte des longs délais d'exécution. Le projet a impliqué un grand nombre d'entreprises de construction et de consultants. La complexité du projet a entraîné des retards importants dans la mise en œuvre. La période de développement prolongée de ce projet met également en évidence le risque que prend un service public en mettant en œuvre un projet sur la base d'une construction seule, puisqu'il doit achever toute la conception, les autorisations et le financement avant la construction, puis gérer les risques d'interface entre les entrepreneurs si le projet n'est pas construit dans le cadre d'un contrat d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction (EPC). Malgré ces défis, le projet achevé représente une réalisation technique et de gestion de projet majeure avec des avantages économiques significatifs à long terme.

Conception-construction

Dans ce modèle, une partie privée est responsable de la construction, de l'installation et de la conception détaillée du SSE en fonction des besoins exprimés par le service public. Le service public est toujours tenu de fournir des spécifications détaillées pour les services auxiliaires et/ou les exigences de production. Comme dans le cas du modèle "Construire seulement", le service public reste responsable de l'exploitation et de la maintenance, ainsi que de la budgétisation et du financement.

Conception-Construction-Exploitation-Maintenance (CCEM)

Dans ce modèle DCEM, la majorité des activités liées au SSE relèvent de la responsabilité d'une partie privée, y compris la conception, la construction et l'exploitation. Cette relation entre la partie privée et le service public est généralement régie par un contrat de service à long terme qui comprend des obligations de paiement de la part du service public et des obligations de performance de la part de la partie privée. Des pénalités et des primes peuvent également être prévues pour encourager une performance optimale pendant la durée du contrat. Dans ce modèle, la principale responsabilité de la compagnie est d'ordre financier, à la fois pour réunir les fonds nécessaires au développement du système et pour s'acquitter de l'obligation permanente d'effectuer des paiements à la partie privée dans le cadre du contrat à long terme.



Exposition du secteur public

PRACTICE NOTE

La participation des partenaires privés au modèle CCEM peut être élargie pour attribuer la responsabilité de garantir le financement d'un projet SSE. La participation au financement par des parties privées est souvent appelée modèle "conception-construction-exploitation-transfert" (CCET). La principale caractéristique de ce modèle est que le promoteur privé du projet exploite et possède le projet pendant un certain temps et utilise les revenus générés par le projet pour rembourser la dette contractée pour le financement et pour obtenir un rendement raisonnable. Toutefois, le modèle CCET peut encore impliquer un certain degré de propriété publique puisque l'ESS sera finalement transférée à une entité publique (généralement un service public). Le transfert peut avoir lieu au début du cycle de vie du projet (c'est-à-dire après que le service public a acquis suffisamment d'expérience pour gérer directement l'actif) ou vers la fin du cycle de vie (c'est-à-dire après que la valeur a été entièrement récupérée par le développeur privé). Le moment du transfert aura également un impact sur l'économie du projet. Par exemple, si le projet est transféré plus tôt, la compagnie d'électricité devra souvent effectuer un paiement important au développeur du projet pour rembourser la dette du projet et fournir au développeur le retour sur investissement escompté.

Autres considérations pour les SSE appartenant aux services publics

Dans les applications de services publics verticalement intégrés où le SSE appartient au service public, le contrôle direct du service public sur l'actif permet une utilisation flexible dans des domaines tels que la production, la T&D, la gestion du réseau, etc. ou des solutions ciblées telles que le déploiement derrière le compteur pour la gestion du côté de la demande. Le fait que les acquisitions du SSE par les services publics soient basées sur les actifs permet également de tirer parti du budget d'investissement général du service public pour mettre en œuvre des solutions SSE en fonction des besoins. En étant propriétaire du SSE, le service public peut faire évoluer son utilisation au fil du temps, en fonction de l'évolution de l'utilisation du réseau au cours de la transition énergétique, et mettre en œuvre des changements de manière discrétionnaire (contrairement à la nécessité de renégocier un contrat dans le cadre d'un modèle d'entreprise privé). Le service public est toutefois exposé à des coûts supplémentaires au fur et à mesure de

l'évolution de l'utilisation d'un SSE, tels que les modifications, les mises à niveau et la maintenance supplémentaire.

Le déploiement des SSE par les entreprises de services publics par le biais de la propriété directe peut présenter l'avantage supplémentaire de satisfaire aux exigences politiques en plus de produire des économies de coûts. Les services publics sont souvent incités par leurs gouvernements hôtes à soutenir les obligations découlant d'accords internationaux visant à contribuer à l'atténuation du changement climatique par la transition vers des sources d'énergie à faible teneur en carbone. Comme nous le verrons plus loin dans la section sur les sources de capital, cela peut permettre aux gouvernements et aux services publics d'accéder au financement des coûts de développement des projets SSE pilotes (études de pré faisabilité et de faisabilité), ainsi qu'à des subventions et à des financements concessionnels pour le développement des projets.

SSE appartenant à la municipalité

Dans certains pays, des entités infranationales sont responsables de la distribution de l'électricité, y compris de la facturation du réseau et du détail et du service, en particulier dans les zones rurales où l'économie d'un service public financé par le secteur privé n'est pas viable. Ces acteurs locaux ont la possibilité d'augmenter leurs revenus en déployant des actifs de stockage de l'énergie de la même manière que les services publics. Dans cette section, nous nous concentrerons sur les municipalités plus petites et plus localisées, bien qu'il puisse également s'agir d'entités plus grandes telles que des États au sein d'une république ou d'une fédération ou des regroupements de juridictions locales dans le cadre d'un distributeur régional d'électricité.

Les municipalités et autres fournisseurs d'énergie ruraux sont souvent confrontés à des coûts énergétiques plus élevés que les marchés urbains plus denses. Le modèle commercial des déploiements SSE dans ces contextes est souvent axé sur l'atténuation de ces coûts énergétiques élevés par la réduction des pointes, la municipalité achetant de l'électricité à des tarifs de gros hors pointe pour charger le système SSE et rejetant ensuite cette énergie aux heures de pointe. Outre l'effet de réduction des pointes au niveau du marché de gros, qui peut contribuer à la capacité générale du réseau, la municipalité peut augmenter ses revenus grâce à l'arbitrage entre les tarifs des heures pleines et des heures creuses. Les municipalités peuvent

également s'appuyer sur le SSE pour favoriser l'adoption de sources d'énergie renouvelables en achetant l'énergie photovoltaïque ou éolienne excédentaire lorsqu'elle est disponible.

Il convient également de noter que le stockage de l'énergie est devenu de plus en plus courant dans les mini-réseaux municipaux qui desservent les clients électriques dans les zones où l'électricité connectée au réseau n'est pas disponible. Dans le cas des mini-réseaux, le système de stockage d'énergie peut être associé à une source d'énergie renouvelable intermittente, telle que l'énergie solaire photovoltaïque, et prolonger la disponibilité de l'électricité en la chargeant pendant les périodes de forte production (lumière du jour) et en la déchargeant pendant les périodes d'absence de production (nuit).

Les marchés électriques ruraux sont également plus sujets au délestage (en raison d'un nombre plus limité de sources d'énergie), qui peut être atténué par l'utilisation d'un SSE comme source d'énergie de secours. L'équilibre entre le coût, la durée du délestage et la taille du SSE devra présenter un avantage économique tant pour la municipalité que pour le consommateur.

SSE appartenant à une coopérative

Les services publics coopératifs (coopératives) desservent leurs membres propriétaires, qui vivent tous dans la zone de service de la coopérative. Elles sont similaires aux services publics municipaux, sauf qu'elles existent pour répondre uniquement aux besoins énergétiques de leurs membres propriétaires.

On les trouve dans les localités qui n'ont pas accès à l'électricité ou dans les communautés éloignées du réseau, ce qui rend l'accès au réseau coûteux ou non rentable pour les services publics. Les coopératives peuvent également être créées pour répondre à la demande concentrée de l'industrie locale, comme la transformation par une coopérative agricole ou la fabrication par des industries artisanales (textiles, chaussures, etc.). La structure de SSE appartenant à une coopérative est presque identique à la structure appartenant à la municipalité décrite plus haut. La principale différence est que, en tant que propriétaires et clients, les membres de la coopérative peuvent bénéficier d'un partage des excédents de recettes du service public de la coopérative ou, dans le cas de la valeur du SSE, des économies de coûts liées à l'écrêtement des pics de consommation.

Modèles d'entreprises privées

Dans de nombreux pays en développement, les services publics sont soumis à des contraintes financières. Ces contraintes financières limitent la capacité des services publics à obtenir le capital initial nécessaire à l'acquisition directe de SSE. Même en l'absence de contraintes financières, les services publics peuvent également ne pas disposer de l'expertise ou de l'expérience nécessaire pour développer et gérer directement le déploiement d'un SSE. Dans un cas comme dans l'autre, les gouvernements hôtes et les services publics recherchent des investisseurs privés pour qu'ils prennent en charge l'ensemble du déploiement des systèmes électriques et électroniques, y compris la conception technique, la structuration juridique et l'autorisation, ainsi que le financement du projet. Le simple fait que tout investissement rationnel doive produire un bénéfice net signifie que les modèles commerciaux privés dans le domaine des SSE partagent des caractéristiques techniques avec les modèles publics décrits ci-dessus, mais diffèrent considérablement en termes de propriété et d'exploitation.

Projet IPP incluant le stockage de l'énergie

Comme indiqué dans le manuel *Comprendre les contrats d'achat d'électricité*, les marchés de l'électricité ont connu une évolution significative, passant des services publics verticalement intégrés, qui possèdent et exploitent des actifs de production, aux producteurs indépendants d'électricité. Le modèle IPP consiste à développer un projet de production sur une base privée et à passer un contrat avec la compagnie d'électricité (ou tout autre fournisseur) pour la vente à long terme de l'électricité produite par le projet.

Du point de vue de la structuration financière et de la disponibilité des capitaux, le déploiement du stockage de l'énergie par le biais des PIP est une extension naturelle de la structure de propriété et d'exploitation qui a permis à cette structure de projet énergétique de gagner la confiance des services publics, des développeurs et des prêteurs. Comme le décrit le manuel *Comprendre le financement des projets*

énergétiques, la principale caractéristique d'un projet IPP est l'inclusion de tous les actifs et passifs du projet au sein d'une société dédiée (société de projet). Par conséquent, lorsqu'une IPP perçoit des revenus de la vente d'énergie, elle utilise ces fonds pour couvrir directement les coûts d'exploitation, assurer le service de la dette et verser des dividendes aux investisseurs.

Dans la structure d'un projet IPP, l'incorporation d'actifs de stockage d'énergie a pour effet d'augmenter les coûts de développement au départ et (idéalement) de générer des rendements supplémentaires à long terme. L'augmentation des coûts d'investissement d'un projet IPP comprenant un projet de stockage d'énergie (par rapport au même projet sans stockage d'énergie) obligera le développeur du projet à contracter des dettes supplémentaires pendant la phase de développement, ce qui l'obligera à son tour à convaincre un prêteur potentiel que cette dette supplémentaire est supportable dans le cadre de l'économie du projet. L'assurance donnée aux prêteurs proviendra généralement des revenus supplémentaires que l'IPP sera en mesure de générer grâce au SSE. Par conséquent, les PIP comprenant des projets de stockage d'énergie sont très sensibles aux conditions réglementaires et de marché, car il doit être clair que les actifs de stockage d'énergie du projet seront autorisés à participer au marché de l'électricité d'une manière qui permette de réaliser le rendement attendu de cet investissement.

Étude de cas : Modèles d'entreprise SSE en vigueur en Namibie

La Namibie a modifié la réglementation de son marché de l'électricité en 2019 afin de permettre une participation accrue des acteurs du marché dans le secteur de la production. Cette réforme du marché a donné lieu à d'importants investissements, qui ont permis de produire 75 MW de nouvelles capacités (solaire photovoltaïque). Pour gérer l'intermittence de cette nouvelle production (en réduisant les pics), la Namibia Power Corporation (NamPower) achète actuellement 60 MWh de capacité de stockage d'énergie dans le cadre d'un modèle de conception-construction. Le distributeur régional d'électricité du centre-nord de la Namibie (CENORED) a également acquis une capacité de stockage d'énergie pour la réduction des pics. Contrairement à NamPower, CENORED structure son acquisition en tant qu'IPP, y compris le modèle de SSE dans lequel une centrale solaire photovoltaïque existante de 5 MW, en service depuis 2015, sera améliorée à 10 MW et colocalisée avec un SSE. Le nouveau projet fournira de l'électricité à un tarif inférieur et réduira les frais de capacité fixes payés au fournisseur d'électricité en gros.

Modèle de fournisseur indépendant de stockage d'énergie

Un fournisseur indépendant de stockage d'énergie (FISE) se distingue du modèle IPP par le fait que les actifs de stockage d'énergie sont la seule source de revenus du projet. Comme dans le cas d'un projet IPP, un promoteur privé est responsable du développement, de la construction et de l'exploitation du projet. En tant qu'entreprise de stockage d'énergie "pure", le revenu généré par le projet peut être basé sur un contrat à long terme avec un fournisseur ou, sur des marchés plus développés avec plusieurs fournisseurs, le projet peut offrir ses services au plus offrant. Un modèle de FISE nécessite souvent une "superposition" de services pour maximiser le rendement de l'investissement dans le stockage de l'énergie et peut adapter ses opérations au fil du temps pour tirer parti de nouvelles opportunités sur un marché de l'électricité en évolution. L'incapacité des FISE à obtenir des rendements réguliers et prévisibles sans accès à un marché de l'énergie ouvert a limité la viabilité de ce modèle d'entreprise dans les marchés émergents. Cependant, l'économie est viable lorsqu'il existe un fournisseur solvable qui est prêt à conclure un accord à long terme avec un tarif fixe.

Dans les marchés émergents où l'accès aux prêts commerciaux est limité, un projet FISE sera probablement financé par une structure de financement de projet (voir le manuel Comprendre le financement des projets énergétiques) qui définit clairement la tarification et l'obligation d'achat pour les services fournis par le projet. La structure tarifaire la plus simple et la plus prévisible est un paiement de disponibilité que le fournisseur est tenu de payer indépendamment de l'utilisation des produits des projets. En retour, le fournisseur exigera que le FISE entretienne le SSE de manière à ce qu'il puisse être utilisé à tout moment (parfois en l'espace de quelques millisecondes).

PRACTICE NOTE

Bien que le modèle FISE soit appelé à jouer un rôle essentiel dans le déploiement du stockage de l'énergie à grande échelle, il n'a pas encore été testé sur les marchés émergents. Les déploiements selon ce modèle sont actuellement limités par l'absence d'un cadre réglementaire permettant aux services de stockage d'énergie d'être proposés et tarifés directement sur un marché de l'électricité. Les décideurs politiques et les régulateurs ont donc une occasion unique de libérer une nouvelle source d'investissement importante en apportant des modifications ciblées à leur cadre réglementaire existant.

Modèle de bail

Les modèles IPP incluant le stockage d'énergie et FISE décrits ci-dessus reposent principalement sur un contrat à long terme qui fournit des revenus suffisants pour que le développeur du projet puisse rembourser la dette liée au développement du projet et obtenir un rendement. Les projets SSE privés peuvent toutefois reposer sur des engagements à plus court terme de la part des offtakers. Dans le cadre d'un modèle de location, le propriétaire privé de l'actif de stockage d'énergie conclut un accord à durée limitée avec le fournisseur pour déployer le système (généralement à l'endroit choisi par le fournisseur). Cela permet au fournisseur de bénéficier des avantages d'un système de stockage d'énergie dédié sans avoir à supporter le coût total de la propriété, et à la partie privée de monétiser la valeur d'un système de stockage d'énergie sans installation fixe. Le modèle de location peut également répondre à un besoin à court terme d'un service public, tel que le report de T&D ou l'augmentation de la capacité du réseau pendant les mises à niveau majeures du réseau.

Malgré la nature à court terme des SSE louées, il est toujours nécessaire de structurer le projet d'un point de vue juridique. Le fournisseur accepte généralement d'effectuer des paiements périodiques de disponibilité à la société de location privée pendant plusieurs années (certains baux s'étendant sur une décennie ou plus). La structure du contrat de location définira également les obligations, par exemple si la société de location assurera la maintenance du bien et/ou si la compagnie d'électricité exploitera directement le système. En termes de portée, les accords de location peuvent se limiter à un actif de stockage d'énergie ou faire partie d'un bail plus large qui inclut également des actifs de production. Par exemple, les exploitations minières situées dans des régions reculées peuvent chercher à louer à terme un système intégré comprenant la production d'énergie solaire photovoltaïque, le stockage par batterie et des générateurs thermiques de secours lorsqu'il n'y a pas de connexion au réseau électrique.

Actuellement, l'utilisation du modèle de location est quelque peu limitée pour les SSE déployées sur les marchés émergents. Il s'agit toutefois d'une structure de financement éprouvée pour de nombreux autres types d'équipements dans le secteur de l'énergie et au-delà. Il s'agit donc d'une option qui peut être envisagée lorsqu'il est peu probable que l'actif soit utilisé pendant toute sa durée de vie. Cela peut être le cas, par exemple,

lorsque le SSE est utilisé pour différer le T&D ou pour compléter la capacité du réseau lors de mises à niveau majeures.

Comme le montre l'étude de cas suivante, le crédit-bail peut également être utilisé pour les composants d'un SSE.

Étude de cas : Location de composants dans les systèmes de stockage de batteries

Une batterie à flux est un type de cellule électrochimique où l'énergie chimique est fournie par deux composants chimiques dissous dans des liquides qui sont pompés à travers le système de part et d'autre d'une membrane. Les liquides, également appelés électrolytes, ne sont généralement pas soumis au même taux de dégradation que les autres parties du système et peuvent conserver une valeur significative à la fin du cycle de vie de la batterie. Dans ce cas, l'acheteur de la batterie peut acheter les composants "secs" du système et louer les électrolytes. Cela permet à l'acheteur de réduire le coût initial global de l'actif tout en évitant l'inconvénient de devoir vendre les électrolytes à la fin du cycle de vie de la batterie pour récupérer une partie du coût initial de l'actif. En outre, comme les électrolytes représentent la plus grande partie de la batterie, cette structure réduit également le coût d'élimination de la batterie pour l'acheteur.

Mini-réseau privé

Les mini-réseaux sont de plus en plus déployés pour desservir les consommateurs d'électricité là où l'électricité connectée au réseau n'est pas disponible. Les mini-réseaux peuvent également être déployés à la "limite du réseau", là où l'électricité connectée au réseau est disponible mais peu fiable. Alors que la première génération de mini-réseaux était principalement développée par des entités publiques pour servir des objectifs politiques, la baisse des coûts de l'énergie solaire photovoltaïque et du SSE a créé des opportunités pour les développeurs privés de mettre en place ces projets sur une base commerciale.

Du point de vue du stockage de l'énergie, l'économie d'un projet

peut être considérablement influencée par l'intégration d'un système de stockage d'énergie dans le projet. Le SSE profite au projet en augmentant la capacité de production du mini-réseau et contribue à la stabilité et à l'optimisation d'un réseau isolé. Cependant, l'intégration du SSE dans les mini-réseaux présente un défi car il peut augmenter de manière significative le coût d'investissement d'un mini-réseau par rapport à la taille modeste de ces investissements. Ce défi est similaire à celui auquel sont confrontés les développeurs privés de IPP comprenant des projets de stockage d'énergie, mais il peut être plus grave étant donné que les mini-réseaux privés peuvent être très sensibles aux augmentations de coûts et aux interruptions de revenus.

Derrière le compteur

Les consommateurs commerciaux, industriels et résidentiels peuvent bénéficier du déploiement de SSE sur le lieu de consommation de l'énergie. Les cas d'utilisation les plus pertinents pour les consommateurs d'électricité sont les suivants :

- ◆ Réduction des pointes - Réduction des frais liés à la demande en réduisant la demande de pic d'un consommateur ;
- ◆ Arbitrage énergétique - Achat et stockage d'électricité pendant les heures de la journée où l'électricité est la moins chère, et consommation lorsque l'électricité est autrement chère ; et
- ◆ Alimentation de secours - Stockage de l'électricité en vue de son utilisation en cas d'interruption de l'approvisionnement en électricité par le réseau.

Ces cas d'utilisation sont souvent réalisés par des SSE situés entre les compteurs d'électricité des consommateurs et les charges. Si le SSE n'est pas principalement utilisé pour revendre de l'énergie au réseau, on dit qu'il est "derrière le compteur". Pour l'entreprise de distribution d'électricité, un SSE situé derrière le compteur est invisible. Par conséquent, le service public dessert la charge du consommateur comme il le ferait pour n'importe quel autre consommateur de la même catégorie tarifaire.

Sources de financement

Les sources de financement des déploiements des SSE sont aussi diverses que l'éventail des modèles d'entreprise. Pour une explication plus détaillée des structures de financement des projets énergétiques, nous recommandons la lecture du manuel Comprendre le financement des projets énergétiques. Cette section s'appuie sur les conseils de ce manuel pour donner un aperçu des considérations particulières relatives au financement des projets de stockage d'énergie.

Financement public

Les entreprises de services publics disposant de ressources suffisantes peuvent financer le déploiement du SSE par le biais de programmes de dépenses d'investissement réguliers. Toutefois, dans de nombreux marchés émergents, ce type d'investissement important nécessitera souvent le soutien du gouvernement hôte, soit par le biais d'allocations directes à partir d'un budget central, soit par le biais de prêts rétrocédés (lorsque le gouvernement emprunte et transmet les fonds à l'entreprise de services publics). Certains gouvernements ont réussi à lever des obligations d'infrastructure, notamment des "obligations vertes" destinées à l'adoption des énergies renouvelables, y compris le déploiement du stockage de l'énergie. Les systèmes de stockage d'énergie permettant un plus grand déploiement des énergies renouvelables, il existe également des fonds multilatéraux et privés axés sur le climat et destinés à soutenir les investissements publics dans les capacités de stockage d'énergie par le biais de subventions ou d'un co-développement avec les gouvernements hôtes.

Outre le financement général des projets, le financement public peut également être ciblé sur les différentes étapes du déploiement des SSE, comme le financement d'études de pré-faisabilité et/ou de subventions d'assistance technique pour les services publics afin de développer la capacité à gérer ces systèmes complexes. Certaines sources de financement sont également axées sur les composants des SSE, comme les prêts accordés par les agences de crédit à l'exportation pour les composants provenant de fabricants étrangers.

Financement vert

Les gouvernements hôtes et les services publics peuvent désormais accéder au financement international de la lutte contre le changement climatique pour le déploiement des SSE, puisqu'il peut être démontré que le projet limitera ou réduira les émissions de gaz à effet de serre. Par conséquent, si la disponibilité des capitaux est une contrainte pour un gouvernement hôte ou un service public, le fait de s'assurer que l'ESS remplit les conditions requises pour bénéficier d'un financement environnemental, social et de gouvernance (ESG) ou d'un financement climatique peut aider à débloquer des fonds auprès d'institutions de financement du développement qui ont fixé des objectifs spécifiques en matière de climat ou d'ESG.

En outre, plusieurs IFD gèrent des fonds climatiques destinés à promouvoir le déploiement rapide de ces technologies à faible émission de carbone qui contribuent à l'intégration durable de la production d'énergie renouvelable dans le réseau. Il s'agit notamment des fonds d'investissement climatiques (le Fonds pour les technologies propres et le Fonds stratégique pour le climat (SCF)) qui peuvent accorder des prêts à des taux d'intérêt inférieurs à ceux du marché (financement concessionnel) ou sous la forme de prêts subordonnés aux prêts de premier rang des prêteurs. Cela permet d'améliorer la structure du capital de l'investissement et le coût du financement. Parmi les autres fonds, on peut citer le Fonds vert pour le climat, le Fonds pour l'environnement mondial et le Programme d'extension des énergies renouvelables (financé par le SCF et soutenant des projets d'énergies renouvelables à plus petite échelle dans certains pays), entre autres. Ces dernières années, les prêteurs commerciaux et les sociétés de capital-investissement ont également fixé des objectifs ESG qui ont favorisé le financement des SSE.

Financement de projets

La plupart des exigences de bancabilité applicables aux projets énergétiques, expliquées dans le manuel Comprendre le financement des projets énergétiques, s'appliquent au financement privé de SSE. Cependant, dans la mesure où le financement de projet traditionnel exige que chaque risque soit atténué ou transmis à la partie la mieux placée, les SSE peuvent

nécessiter l'intervention d'un plus grand nombre de participants privés dans des domaines tels que l'exploitation et la maintenance, l'assurance de projets impliquant des technologies émergentes, les garanties du fabricant, etc.

Des moyens innovants pour atténuer les risques particuliers liés aux technologies SSE peuvent aider à répondre aux préoccupations des prêteurs qui n'ont pas d'expérience préalable des projets de stockage de l'énergie.

Politique

Introduction

Le développement du stockage de l'énergie peut révolutionner les systèmes électriques en Afrique et permettre une expansion plus rapide et plus verte dans les zones mal desservies. Cependant, il est essentiel de comprendre les environnements politiques existants pour libérer ce potentiel.

Comprendre l'environnement politique existant

La prise en compte de l'environnement favorable au sens large est essentielle à la prise de décision concernant les stratégies de proposition ou d'adoption de systèmes de stockage de l'énergie. Par exemple, un pays qui se concentre sur la croissance de son secteur minier national, ou un autre qui se concentre sur le développement de son secteur technologique, aura toujours ces considérations à l'esprit lorsqu'il envisagera des décisions concernant le déploiement de systèmes de stockage d'énergie. Ces considérations pourraient conduire à donner la priorité aux technologies qui correspondent à leurs objectifs. De même, les approches en matière de commerce et de protection commerciale, de croissance de l'emploi et les décisions relatives à l'attribution et à l'utilisation des terres pour une variété d'activités mutuellement exclusives pourraient conduire à ce que certaines technologies soient plus favorables sur des marchés spécifiques. L'évaluation de l'environnement favorable et son importance ont été abordées plus en détail dans d'autres manuels de la série, comme indiqué tout au long de ce chapitre.

Comprendre la passation de marchés pour les projets énergétiques

Dans le manuel "*Comprendre la passation des marchés publics pour les projets énergétiques*", la politique est décrite comme un élément essentiel de l'environnement favorable qui doit être pris en compte pour assurer la réussite du développement d'un projet énergétique. Ce manuel note que "les objectifs politiques peuvent inclure la recherche d'une augmentation et d'une amélioration de l'accès à l'énergie, le développement économique, la réduction des émissions de carbone, l'attraction d'investissements directs étrangers, la création d'emplois, la garantie de la sécurité énergétique, la stabilisation du réseau et le positionnement du pays pour l'industrialisation (Comprendre la passation des marchés de projets électriques, page 32).

Comprendre les contrats d'achat d'électricité

De nombreux pays d'Afrique connaissent une restructuration de leur industrie sous l'impulsion de leur politique intérieure. Il convient de tenir compte du type de marché ou d'industrie concerné. Par exemple, les décisions de passation de marchés pour les marchés avec des industries de fourniture d'électricité intégrées verticalement peuvent être différentes de celles pour les marchés avec des segments séparés de production, de transmission, de distribution et de vente au détail. L'acheteur unique dans ce dernier type de marché peut être plus propice à l'implication du secteur privé dans certains pays. Ce thème de la structure du marché est traité plus en détail dans le manuel *Comprendre les contrats d'achat d'électricité*.

Liens entre politique, réglementation et planification

Il sera essentiel de comprendre les liens entre la politique, la réglementation et la planification dans un pays donné pour plaider en faveur de la poursuite du déploiement des systèmes de stockage de l'énergie et déterminer à quel moment il convient de le faire. Il est donc essentiel de comprendre le contexte particulier du pays concerné. Les questions à poser pour déterminer les liens dans un pays donné sont les suivantes :

De la politique aux réglementations

- ◆ Cohérence - La politique se traduit-elle par des règlements ou ceux-ci sont-ils mal adaptés ?
- ◆ Prévisibilité - Existe-t-il un processus établi pour l'élaboration des réglementations et les réglementations sont-elles respectées ? Par ailleurs, quel est le processus de réglementation au sein d'un pays - qui prend les décisions qui font autorité ? Sur quoi s'appuie la prise de décision ? Est-elle prévisible ou arbitraire ?
- ◆ Capacité institutionnelle - Les mandats des régulateurs sont-ils clairs et existe-t-il une capacité adéquate pour exécuter ces mandats ?
- ◆ Fixation des prix - Comment les prix sont-ils fixés ? Est-ce le rôle du régulateur ou de quelqu'un d'autre ? Les systèmes de stockage d'énergie seront-ils rémunérés ensemble ou séparément pour chacun des services qu'ils peuvent fournir ? Les prix seront-ils fixés par le régulateur ou par contrat ?

De la politique aux réglementations puis à la planification

- ◆ Transparence - Le processus de planification est-il transparent et documenté ? Est-il appliqué de manière cohérente ? Si ce n'est pas le cas, quel est le processus de planification adopté dans chaque pays ?

- ◆ Planification centralisée - Existe-t-il un plan de ressources intégré (PRI) planifié de manière centralisée ou la planification et l'approvisionnement se font-ils de manière ad hoc ?
- ◆ Parties prenantes - Qui sont les décideurs et quelle est leur résistance au changement ? Quelles sont les hypothèses formulées dans le cadre du processus de planification, et ces hypothèses apporteront-elles des avantages ou des inconvénients à une technologie particulière ?
- ◆ Tarification - La tarification sera-t-elle équitable ?

Tirer parti des politiques existantes

Étant donné le pouvoir habilitant du stockage de l'énergie, ceux qui s'efforcent d'accroître la pénétration des SSE en Afrique ont peut-être un point de départ. En plus d'encourager l'élaboration de nouvelles politiques pour les technologies de stockage de l'énergie, les positions politiques communes suivantes pourraient être citées dans les conversations avec les régulateurs et les planificateurs afin d'encourager le déploiement du stockage de l'énergie.

Localisation

De nombreuses technologies de systèmes de stockage d'énergie par batterie nécessitent des minéraux qui peuvent être obtenus ou valorisés au niveau national. En mettant en avant l'utilisation de ces minéraux locaux, le déploiement des systèmes de stockage d'énergie pourrait être privilégié par rapport à d'autres technologies afin de respecter les politiques de localisation existantes. Il est important de noter que les premiers projets pilotes et déploiements des SSE peuvent s'accompagner d'un niveau organique ou nécessaire de transfert de technologie. La capacité de fabriquer, d'assembler, de recycler et d'exploiter des SSE peut s'aligner étroitement sur les objectifs des politiques de localisation à mesure que les filières de stockage se développent.

Emploi, industrialisation et croissance économique

Le déploiement du stockage de l'énergie a le potentiel de créer des industries locales et des emplois associés. Le déploiement de systèmes de stockage d'énergie permettra également de créer des emplois pendant les phases de développement, de construction et d'exploitation. Ces emplois comprendraient, entre autres, le développeur, le personnel de construction, le personnel de maintenance et le personnel de gestion des actifs.

Les SSE peuvent également permettre une expansion rapide de la capacité de production d'électricité ; ainsi, le déploiement des SSE peut favoriser la croissance économique dans les pays où la demande d'électricité est freinée par le manque de disponibilité ou de fiabilité de l'approvisionnement.

Pénétration des énergies renouvelables et atténuation du changement climatique

L'intégration des SSE peut soutenir les politiques existantes visant à intégrer des proportions plus importantes d'énergies renouvelables variables. On peut facilement affirmer que le déploiement du stockage de l'énergie est synergique et constitue une condition préalable à la réalisation par un pays de ses politiques de déploiement des énergies renouvelables.

Sécurité énergétique et diversité des ressources

Les pays ont généralement des politiques à long terme visant à l'indépendance énergétique afin de s'assurer que leur marché de l'énergie n'est pas tributaire de celui d'un exportateur d'énergie. L'ajout du stockage de l'énergie (ainsi que d'autres technologies) permet à un pays de parvenir à l'indépendance énergétique en s'affranchissant de la hausse et de la baisse des prix des matières premières et du risque de change qui y est associé. L'ajout du stockage de l'énergie offre également la possibilité de diversifier la production d'électricité et d'améliorer ainsi la fiabilité du système électrique et sa capacité à résister aux catastrophes et autres chocs de grande ampleur.

Responsabilité fiscale

Les technologies de stockage peuvent contribuer à différer les coûts d'investissement importants des nouveaux réseaux de transport d'électricité, en particulier dans les contextes où le réseau électrique est financé par une entité publique.

Electrification universelle

Le déploiement du stockage de l'énergie peut fournir un accès fiable à l'électricité aux plus démunis, encourageant ainsi plusieurs politiques connexes existantes. Cette électrification pourrait se faire par le biais de mini-réseaux créés pour les îles ou d'autres communautés où le réseau électrique complet n'est pas accessible de manière fiable. Cette électrification pourrait également se faire en fournissant une électricité continue et fiable à ceux qui en dépendent pour leur santé et leur bien-être.

Planification de la reprise après sinistre

Le SSE peut soutenir des services à démarrage rapide ou distribués, permettant à un pays d'être résilient et autonome à la suite d'une catastrophe naturelle ou autre.

Étude de cas : Transformer une catastrophe en opportunité

Avant 2017, la Puerto Rico Electric Power Authority était grevée d'une dette importante et d'une infrastructure vieillissante. En 2017, les ouragans Irma et Maria ont provoqué l'effondrement de la plupart des systèmes de transmission et de distribution à Porto Rico, laissant 95 % des résidents sans électricité immédiatement après les tempêtes et laissant les résidents de certaines parties du territoire sans électricité pendant près d'un an.

En 2019, les législateurs locaux ont modifié les normes en matière d'énergies renouvelables, avec pour nouvel objectif d'atteindre 40 % d'énergies renouvelables d'ici 2025 et 100 % d'énergies renouvelables d'ici 2050. De nombreuses personnes ont considéré cette exigence comme le meilleur moyen de renforcer l'infrastructure de l'île afin qu'elle ne soit pas aussi vulnérable aux dévastations futures, tout en répondant à la pression pour s'aligner sur les objectifs généralisés en matière d'énergie verte. Ils y voyaient également un moyen de protéger les citoyens vulnérables de l'impact de futures catastrophes mortelles et de réduire leur dépendance à l'égard des coûts élevés des carburants importés.

Bien que chacune de ces politiques puisse être mise en œuvre grâce aux énergies renouvelables, les autorités locales étaient conscientes que ces politiques ne pourraient pas porter leurs fruits sans le pouvoir habilitant du stockage de l'énergie. L'IRP de Porto Rico prévoyait 1 500 MW de stockage d'énergie, et les appels d'offres lancés depuis lors prévoient l'achat d'énergies renouvelables et de stockage d'énergie auprès des producteurs indépendants d'électricité. Ces politiques ont également permis d'acquérir des installations de stockage appartenant aux services publics.

Risques et défis

Le déploiement, ou l'absence de déploiement, des technologies de production d'énergie renouvelable en Afrique subsaharienne au cours de la dernière décennie (en 2021, seuls 6 % de la capacité mondiale de production d'énergie éolienne et solaire se trouvaient en Afrique subsaharienne) peut être directement attribué à l'élaboration tardive de politiques et de règles visant à encourager le développement de cette énergie propre, même si les ressources renouvelables sont abondantes sur tout le continent. Ce manque de développement est en partie dû aux avertissements de la littérature sur les impacts observés de la production d'énergie renouvelable dans les pays développés, à savoir l'impact de la variabilité sur la fiabilité du système électrique. En Afrique, le soutien apporté aux pays pour créer des politiques et des plans de développement des ressources de production d'énergie renouvelable au cours des deux dernières décennies a reflété cette pensée conservatrice. Les décideurs pensaient que les systèmes électriques fragiles souffriraient encore plus de l'intermittence de la production d'énergie renouvelable. À titre d'exemple, les plans directeurs de l'Afrique subsaharienne ont largement fait référence à ces impacts potentiels et ont recommandé des approches et des objectifs conservateurs pour le développement des technologies éoliennes et solaires. Cependant, il a été prouvé, pays après pays, que les systèmes électriques étaient suffisamment robustes pour intégrer des actifs de production d'énergie renouvelable d'une manière rentable, respectueuse de l'environnement et conforme à d'autres objectifs de politique nationale.

Le même raisonnement empirique qui a conduit au lent développement de la production d'énergie renouvelable en Afrique pourrait se répéter dans les conversations autour de la mise en œuvre des systèmes de SSE en Afrique. Les décideurs politiques pourraient facilement se demander pourquoi ils devraient développer le stockage de l'électricité dans des systèmes électriques qui ne disposent pas encore de suffisamment d'énergie pour approvisionner les clients 24 heures sur 24 et éviter de parler des nombreux autres avantages que le stockage de l'énergie peut encore apporter.

Il est primordial de tirer les leçons du développement passé des énergies renouvelables sur le continent, des déploiements de SSE dans le monde entier et des cas d'utilisation et des analyses de rentabilité proposés pour les systèmes de stockage de l'énergie en Afrique subsaharienne, afin de créer un environnement propice à la poursuite du déploiement des SSE. Les SSE peuvent non seulement jouer un rôle de catalyseur dans le développement des énergies renouvelables dans les pays africains, mais aussi contribuer à apporter la flexibilité nécessaire aux opérateurs de systèmes qui n'ont souvent pas d'autre choix que de faire fonctionner leurs équipements de production au-delà des limites prescrites ou de compenser la demande totale d'électricité.

En outre, à mesure que les marchés se dissocient, les gestionnaires de réseau sont de plus en plus limités en termes de propriété et de déploiement des actifs de production. Dans les cas où les SSE sont classés comme actifs de production à des fins d'autorisation et de réglementation, cela peut être source d'incertitude. L'incertitude sur les règles qui régissent les SSE crée un défi là où le déploiement est particulièrement bénéfique en termes d'exploitation du système uniquement.

Étant donné que les gestionnaires de réseau sont des acteurs importants dans l'adoption et le déploiement des systèmes électriques et électroniques, ils devraient être autorisés à participer au développement et à la propriété des SSE. Des garde-fous réglementaires devront être mis en place pour veiller à ce que les distorsions du marché ne favorisent pas les participants.

Cadre réglementaire

Introduction

L'expérience mondiale montre que la mise en place d'un cadre réglementaire pour un secteur/sous-secteur d'infrastructure naissant, indépendamment du modèle de marché et des cas d'utilisation spécifiques, peut apporter de la stabilité à l'ensemble du secteur et de la transparence aux investisseurs. Compte tenu de la nature potentiellement révolutionnaire de l'adoption généralisée de la technologie de stockage de l'énergie, il est impératif que les régulateurs fournissent rapidement un tel cadre réglementaire.

De nombreuses économies en développement commencent déjà à répondre à la nécessité croissante d'inclure des systèmes de stockage de l'énergie dans leur palette de technologies électriques. Cette démarche est motivée par diverses considérations, notamment la nécessité de répondre à des impératifs nationaux ainsi qu'à des engagements internationaux.

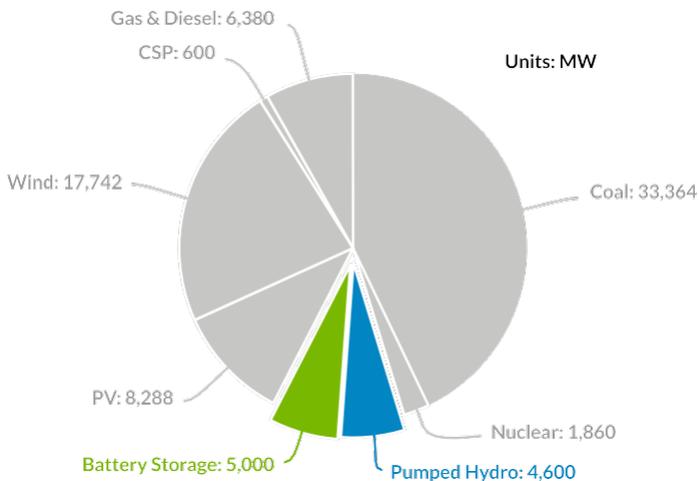
Nouvelles approches de la régulation des Systèmes de Stockage de l'Énergie

Les réglementations spéciales ou les modifications de réglementations envisagées sont les suivantes :

- ◆ Définitions des types de SSE faisant l'objet d'une réglementation ;
- ◆ Recommandations concernant l'octroi de licences spéciales pour le stockage (compte tenu du fait que le stockage est à la fois un consommateur et une source d'électricité) ;
 - Sur certains marchés, les clients, les charges et les sources supportent des charges différentes
 - En raison de la nature du stockage, on craint que l'intégration des SSE n'entraîne une charge supplémentaire pour les régulateurs
- ◆ Modifications des structures tarifaires pour tenir compte des recettes provenant de nouvelles sources de valeur ;
- ◆ Modifier les codes du réseau et de la distribution afin de garantir que l'intégration de nouvelles technologies énergétiques soit possible et ne perturbe pas le réseau ; et
- ◆ Réglementations subsidiaires (qui se reflètent également dans les processus d'autorisation) relatives à l'environnement, à la santé et à la sécurité.

La Namibie et l'Afrique du Sud sont deux pays qui ont pris des mesures pour créer des réglementations concernant spécifiquement les systèmes de stockage. Dans le cas de la Namibie, l'un des principaux moteurs de l'élaboration de la réglementation sur le stockage de l'énergie est la nécessité d'en faciliter l'adoption. L'accent est mis sur l'agnosticisme technologique et une certaine considération est accordée à la nécessité d'exempter certaines catégories d'applications de stockage de la réglementation. Dans le cas de l'Afrique du Sud, l'autorité de régulation a pris des mesures pour élaborer des spécifications techniques et de conception pour les SSE connectés au réseau. Les développeurs et les fournisseurs qui cherchent à mettre en place des installations de stockage d'énergie sur le continent doivent tenir compte des différentes

réglementations qui sont en train d'être mises en place.



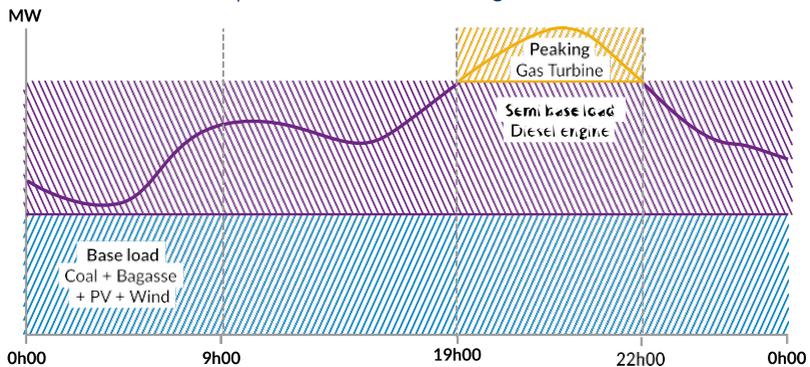
Les SSE dans le cadre des objectifs de l'Afrique du Sud à l'horizon 2030

Dans les pays où il n'existe pas de réglementation spécifique au stockage par batterie, les développeurs de systèmes de stockage d'énergie, les fournisseurs et les financiers doivent tenir compte de l'expérience du pays en matière d'introduction de nouvelles technologies. Certains pays réagissent tardivement aux nouvelles technologies, mais lorsqu'ils se rendent compte de leur prolifération potentielle, ils adoptent une série de réglementations qui peuvent devenir des obstacles ou favoriser l'adoption de ces technologies.

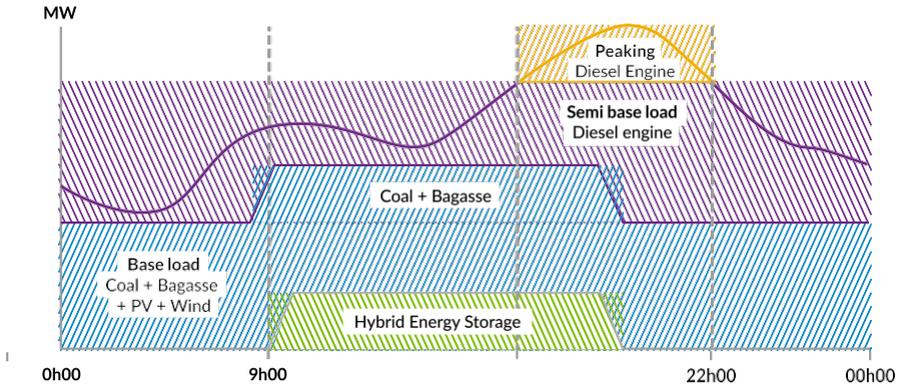
D'autres pays ont tendance à adopter une approche expérimentale en autorisant l'intégration de nouvelles technologies et en observant s'il y a des effets négatifs. Dans certains cas, les règles de base des premiers projets de stockage d'énergie dans un pays donné peuvent être intégrées dans un contrat d'achat (c'est-à-dire une réglementation par contrat). Compte tenu de la longueur du processus réglementaire dans de nombreux pays, cette option peut être privilégiée pour les projets pilotes/de démonstration qui nécessitent une mise en œuvre rapide. Toutefois, ces contrats d'enlèvement créent souvent un précédent dont l'ensemble du secteur aura du mal à s'écarter.

Étude de cas : Île Maurice

À Maurice, la compagnie prévoyait que la demande de pointe serait bientôt supérieure à la capacité de production de pointe installée. La compagnie a étudié les solutions potentielles et a reconnu qu'un projet hybride solaire plus stockage pourrait fournir les besoins de pointe requis à un coût inférieur à celui d'une turbine à gaz à cycle combiné. La compagnie a lancé un appel d'offres international pour la construction d'un tel projet. Les soumissionnaires devaient garantir un profil de puissance journalier afin d'encourager l'expansion des énergies renouvelables et de remplacer un générateur potentiellement coûteux. Il est certain que la composante solaire seule créerait des périodes de production excédentaire et de réduction. Cependant, associé à une batterie, le système combiné pourrait répondre aux exigences de la compagnie d'électricité. Bien que l'île Maurice n'ait pas mis en place de cadre réglementaire pour l'utilisation des systèmes de stockage d'énergie, le service public a pu, par le biais de son processus contractuel, réguler l'utilisation de la composante batterie en proposant des incitations tarifaires et des exigences contractuelles qui obligeaient le système combiné à atteindre le profil journalier qui n'était pas imposé par la réglementation. En outre, bien qu'il n'y ait pas de cadre réglementaire en place pour la fourniture de services auxiliaires par un système de stockage d'énergie, le service public a inclus dans le contrat des dispositions exigeant que le système combiné fournisse une réponse en fréquence, un soutien de la tension et une correction du facteur de puissance, avec des pénalités associées en cas d'incapacité du système combiné à fournir ces services auxiliaires lorsque la batterie a une charge suffisante.



Courbe de durée de l'offre - Le statu quo (étude de cas de l'île Maurice)



Courbe de durée d'approvisionnement - SSE hybride
(étude de cas de l'île Maurice)

Principaux éléments à prendre en compte lors de l'évaluation et de l'élaboration des règlements relatifs aux SSE

Nous reconnaissons que la diversité des structures du secteur de l'électricité, des cas d'utilisation potentiels du stockage de l'énergie et du niveau des incitations/contraintes à fournir par le biais de la réglementation rend difficile la présentation de recommandations au cas par cas pour chaque pays, mais les principes généraux énumérés ci-dessous peuvent servir d'aide aux régulateurs et aux autres parties prenantes dans l'élaboration et l'évaluation d'un cadre réglementaire pour les SSE.

Licences

Certaines économies en développement disposent de cadres d'autorisation matures en raison de la fourniture de services traditionnels par l'industrie de l'approvisionnement en électricité. L'octroi de licences pour les SSE peut s'appuyer sur le cadre d'octroi de licences existant comme point de départ. Une approche peut être adoptée pour délivrer à une installation de production existante qui intègre des SSE une licence modifiée qui reflète les changements apportés au type de technologie et toute modification de la capacité. En ce qui concerne les SSE autonomes, deux types de licences peuvent être envisagés. Dans un modèle de marché à acheteur unique, une licence de transport déjà délivrée au propriétaire du réseau de transport peut être modifiée pour inclure le développement et l'exploitation d'un SSE. Dans un marché de gros partiellement libéralisé où il y a plusieurs acheteurs, une licence de stockage d'énergie peut être délivrée à la société de projet. Les pays africains peuvent envisager d'élaborer un cadre réglementaire pour exclure les SSE derrière le compteur/hors réseau des dispositions relatives à l'octroi de licences en dessous d'un certain seuil de capacité, afin d'inciter les clients à installer ces types de systèmes. Une licence de production peut être délivrée au reste des SSE derrière le compteur/hors réseau.

Réglementation technique

Les codes sont des réglementations techniques qui définissent les exigences relatives à la connexion d'un SSE à un réseau électrique afin de préserver l'intégrité, la sûreté, la sécurité et l'exploitation économique du réseau. Les codes précisent les connexions du SSE au réseau de transmission ou au réseau de distribution. Ils sont généralement rédigés et appliqués par l'autorité de régulation.

Un SSE devra résister aux écarts de fréquence et de tension dans des conditions normales et anormales. La déconnexion et la connexion au réseau sont laissées à la discrétion de l'opérateur du système. Les codes précisent également le nombre de tests à effectuer par le propriétaire du projet pour démontrer la conformité aux exigences du code avant que l'opérateur du système n'autorise la connexion.

Réglementation en matière d'environnement et de sécurité

Les gouvernements et les régulateurs peuvent mettre en place des réglementations pour s'assurer que les SSE du continent utilisent des matériaux extraits et valorisés selon des normes écologiques et dans le respect total des droits de l'homme. Les composants du système devront être durables et sûrs. L'installation et le fonctionnement de SSE doivent minimiser l'impact sur l'environnement. En fin de vie, des réglementations devront être prévues pour la réutilisation, la refabrication ou le recyclage du SSE afin qu'il soit réinjecté dans l'économie sous forme de matériaux de valeur. Les réglementations porteront également sur l'utilisation sûre du système et sur la minimisation des blessures des personnes et des biens à proximité de SSE. Les développeurs et les fournisseurs doivent être attentifs aux méthodes permettant de répondre à ces exigences lorsqu'ils demandent de nouvelles licences SSE.

Alignement sur le cadre existant

Les changements réglementaires devront probablement être reflétés dans la législation primaire, telle que la loi sur l'électricité, par laquelle les opérations des SSE seront reconnues comme une activité réglementée. Ce changement permettra au régulateur de délivrer une licence à une société de projet ou de modifier les licences existantes délivrées pour réglementer les activités du SSE. Des réglementations, codes et normes spécifiques au stockage de l'électricité pourront alors être élaborés par le régulateur. En outre, les réglementations associées en matière d'environnement et de sécurité devront être modifiées pour inclure le SSE.

Étude de cas : Mesure provisoire de la Namibie pour l'octroi de licences SSE

En Namibie, le Conseil de contrôle de l'électricité (ECB), l'autorité de régulation de l'électricité, a élaboré des règles sur le stockage de l'énergie qui seront prévues dans le cadre d'un nouveau projet de loi sur l'électricité. Il convient de noter que la loi sur l'électricité existante (loi 7 de 2007) est en cours de modification pour inclure les SSE d'une capacité supérieure à 500 kW. La nouvelle loi sur l'électricité n'ayant pas encore été promulguée, la BCE a approuvé, à titre de mesure provisoire, le déploiement des technologies SSE dans le cadre réglementaire existant, avec les règles opérationnelles actuelles en matière de stockage de l'énergie.

Dans le cadre réglementaire actuel, les demandes d'autorisation des SSE sont considérées comme des demandes d'autorisation de production, avec des conditions spécifiques aux SSE, par exemple si le SSE sera utilisé pour des services de capacité, auxiliaires ou énergétiques, comme cela est spécifiquement mentionné et indiqué dans chaque demande d'autorisation de SSE approuvée.

Les titulaires de licences de production souhaitant demander des licences SSE devront demander une modification de leur licence. Cette procédure permettra de modifier la licence de production afin d'y inclure les SSE et d'y associer de nouvelles conditions de stockage, notamment en ce qui concerne l'application des SSE, les conditions de répartition, l'intégration du système ainsi que les tarifs applicables.

Pour tout nouveau projet SSE, la réglementation existante sera applicable (en utilisant la demande de licence de production). Les demandes ont commencé à être traitées en 2022. En juin 2022, un (1) projet SSE a été approuvé par le régulateur et plusieurs demandes sont en cours d'examen.

Évaluer les exigences des réglementations relatives aux SSE

Pour permettre l'adoption rapide des SSE, les acteurs du secteur peuvent avoir besoin d'être proactifs dans l'évaluation du cadre réglementaire existant et de recommander ou d'élaborer de nouveaux projets de réglementation. Certaines règles peuvent être adaptées pour déterminer dans quelles circonstances un système d'énergie solaire peut bénéficier d'une exemption de réglementation ou déclencher une obligation d'autorisation ou d'autres exigences réglementaires. Par exemple, les exemptions peuvent s'appliquer aux SSE de petite capacité ou aux systèmes derrière le compteur, et les exigences en matière de licence et autres exigences supplémentaires peuvent ne s'appliquer qu'aux SSE de très grande taille par rapport à la taille du réseau électrique, ou lorsque le SSE joue un rôle essentiel dans la stabilité, la fiabilité ou la résilience.

Le tableau suivant est un guide permettant aux acteurs de l'industrie d'évaluer et de réfléchir à l'élaboration de nouvelles réglementations pour permettre l'intégration des SSE.

Base de référence Réglementations préexistantes

Toutes configurations

Actions à entreprendre avec le SSE Nouvelles réglementations potentielles

Réglementations en matière d'environnement et de sécurité
Exigences relatives à l'enregistrement des SSE (par exemple, au-delà de certains seuils)



Commerce interentreprises (mini-réseaux, autoproduction, SSE de secours derrière le compteur)

Base de référence *Réglementations préexistantes*

Réglementation pour le photovoltaïque en toiture et la production intégrée

Réglementations relatives aux mini-réseaux

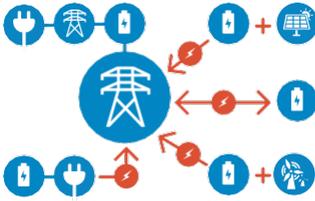
Réglementation sur le stockage (par exemple, l'hydroélectricité de pompage)

Actions à entreprendre avec le SSE *Nouvelles réglementations potentielles*

Modifications des exigences relatives à l'enregistrement des actifs des SSE auprès du régulateur et des seuils de capacité qui déclenchent des réglementations supplémentaires - en particulier pour les actifs raccordés au réseau.

Normes techniques pour le maintien de la qualité de l'alimentation pour les systèmes connectés au réseau (*)

Normes techniques et réglementations pour la surveillance et la répartition des actifs derrière le compteur pour les services de réseau



Acheteur unique (entreprise de services publics verticalement intégrée)

Base de référence Réglementations préexistantes

Réglementation relative aux producteurs indépendants d'électricité (IPP)

Réglementation relative aux tarifs de rachat garantis

Réglementations relatives au gestionnaire du réseau de distribution, au gestionnaire du réseau de transport et à l'entité publique

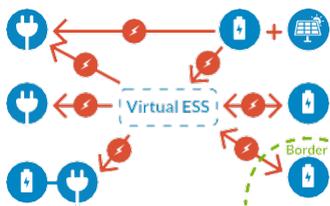
Toute réglementation relative au stockage

Actions à entreprendre avec le SSE Nouvelles réglementations potentielles

Règles de modification des CAE pour intégrer le stockage de l'énergie, y compris l'élaboration d'un régime tarifaire pour prendre en compte les services multiples fournis par les SSE

Modification du cadre réglementaire économique pour faciliter le recouvrement des coûts par le biais du tarif pour les actifs appartenant au service public

Normes et réglementations techniques pour la surveillance et la répartition des actifs derrière le compteur pour les services de réseau (*)



Plein marché ou pool énergétique

Base de référence Réglementations préexistantes

Réglementation relative au pool d'électricité
Réglementation des services auxiliaires
Opérateur de marché
Réglementations transfrontalières

Actions à entreprendre avec le SSE Nouvelles réglementations potentielles

Modification des réglementations existantes afin de créer de nouveaux marchés pour la commercialisation de l'ensemble des services SSE

(*) Il est complexe de fixer des règles si la ER+SSE est derrière le compteur ; cela dépend du type de réglementation en place (comptage net, facturation nette) et de la structure tarifaire des clients.

Risques et défis

Il convient de noter que les cadres réglementaires existants, ainsi que l'élaboration de nouvelles réglementations sur le stockage de l'énergie, peuvent avoir des répercussions considérables sur le développement des SSE et sur le secteur de l'énergie dans son ensemble. Par exemple, avec le déploiement croissant des SSE dans les applications derrière le compteur, les services publics et les opérateurs de systèmes sont confrontés au défi de la réduction des revenus provenant de ces clients. Si le service public est autorisé à augmenter les tarifs pour compenser ces pertes, plutôt que de concevoir des mécanismes pour maintenir ou accroître sa clientèle, cela peut inciter les consommateurs, les industriels et les entreprises à déployer davantage l'autoproduction et le stockage pour réduire les coûts. Le cycle peut se poursuivre jusqu'à ce que le service public devienne insoutenable, affectant l'ensemble du secteur de l'électricité. Il faut trouver un équilibre qui permette à la fois aux réseaux de continuer à fonctionner et aux consommateurs de gérer leurs habitudes de consommation. Une intervention réglementaire sera nécessaire pour garantir un secteur de l'électricité sain, avec des opérations de réseau durables et le déploiement des SSE. Cela nécessite une surveillance réglementaire cohérente et une conformité concernant les systèmes électriques et électroniques déployés derrière le compteur.

Planification

Introduction

Une politique bien conçue n'aboutira pas nécessairement à la réalisation des objectifs politiques du gouvernement si elle n'est pas assortie d'un plan clair de mise en œuvre. "Même lorsque les plans sont inutiles, la planification est indispensable", a déclaré l'ancien président des États-Unis, le général Dwight Eisenhower. Cette maxime pourrait s'appliquer à l'intégration du stockage de l'énergie dans la planification à long terme des marchés en développement.

La planification se situant à la jonction entre la vision (politique) et les règles/directives (cadre réglementaire), il incombe au planificateur de comprendre le plus grand nombre possible d'outils susceptibles d'être mis à sa disposition pour répondre à la politique proposée et aux besoins du réseau. L'intégration correcte du stockage de l'énergie dans les outils et documents de planification est une étape essentielle pour exploiter la flexibilité de la technologie de stockage de l'énergie afin de répondre aux exigences du réseau et de mettre en œuvre la politique nationale.

Un SSE ne sera pas une solution à tous les problèmes que le planificateur voit dans le réseau électrique et ne répondra pas non plus à tous les objectifs politiques, mais le planificateur doit être conscient des avantages potentiels du SSE, y compris la baisse du coût des systèmes de stockage de l'énergie, en tant que nouvel outil de plus en plus viable à prendre en compte dans toutes les décisions de planification.

Contexte de planification

De par sa nature même, la planification est spécifique au contexte. Un planificateur doit comprendre le profil de la production et de la charge, la capacité de transmission et de distribution, les caractéristiques déterminantes et la croissance future pour remplir efficacement cette fonction. L'introduction ou l'introduction potentielle de SSE dans le réseau électrique ne modifie fondamentalement aucune de ces exigences. Cependant, les SSE sont un outil flexible dont le planificateur dispose pour remplir son rôle. Pour remplir efficacement son rôle, le planificateur doit.. :

- Comprend les cas d'utilisation du SSE (voir le chapitre "Cas d'utilisation"), y compris la possibilité de fournir plusieurs cas d'utilisation à des moments différents ou simultanément ;
- Comprend que les technologies SSE sont variées et que chacune d'entre elles présente des caractéristiques uniques qui peuvent être prises en considération ;
- ◆ Comprend que le coût des SSE a considérablement baissé ;
- Comprend les effets que le stockage de l'énergie aura sur les ressources de production existantes ou futures, par exemple en optimisant l'utilisation des actifs de production d'électricité existants et en contribuant à prolonger leur durée de vie économique ou en permettant l'intégration d'actifs de production d'énergie renouvelable supplémentaires afin d'exploiter pleinement les ressources renouvelables disponibles dans une région ;
- Comprend les effets du stockage de l'énergie sur les ressources de transmission et de distribution existantes ou futures ; et
- ◆ Comprend que la fin de vie de l'actif de stockage d'énergie doit être prise en compte dès la planification initiale. Cela inclut l'élimination, la réaffectation et le recyclage, en vue d'un gain financier potentiel ou pour se conformer aux codes en vigueur.

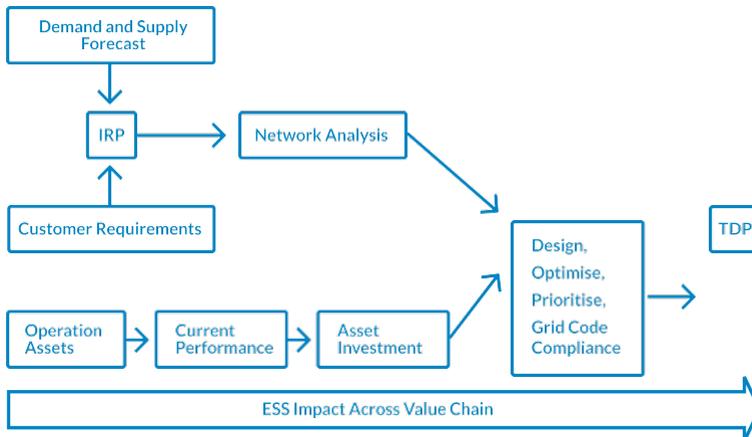
Types de plans

Dans certains pays, la capacité de production d'électricité est planifiée de manière centralisée et publiée dans un plan de ressources intégré (IRP). Ces plans sont mis à jour périodiquement (généralement tous les deux ans) et indiquent la capacité de production d'électricité qui sera intégrée au réseau sur une période de planification de 10 à 30 ans.

Dans d'autres pays, la production d'électricité n'est pas planifiée à long terme et repose souvent sur des propositions de projets spontanées faites aux gouvernements ou sur des projets parrainés par des organismes donateurs ou des institutions de financement du développement. Même dans ce cas, comme dans celui des plans de production planifiés et prévisibles, le processus habituel de passation de marchés ou de développement de projets de production d'électricité doit être compris afin que les développeurs et les investisseurs soient conscients des technologies, des prix et de la répartition des risques qui conviendraient à chaque pays concerné.

Les risques associés aux résultats de chaque approche de planification adoptée doivent également être pris en compte. Dans les pays où la planification est moins holistique et prévisible, il existe un risque que les hypothèses sur lesquelles la technologie est jugée viable changent. Par exemple, si la fiabilité du réseau n'est pas assurée, il peut y avoir un risque pour les modèles commerciaux ou les contrats qui reposent sur des hypothèses concernant la disponibilité de l'infrastructure pour fournir le service. L'intégration de nouvelles technologies dans ces environnements peut donner lieu à des tarifs plus élevés et à des contrats "take or pay" pour tenir compte du risque d'indisponibilité du réseau, mais ces solutions peuvent ne pas être durables pour le service public si les problèmes sous-jacents ne sont pas résolus. La performance et la durée de vie des actifs peuvent également être affectées par des changements dans la qualité de l'approvisionnement du réseau auquel ils sont connectés.

Processus de planification de haut niveau



Organigramme de la planification de l'impact du SSE

Le processus de planification commence par une politique répondant aux objectifs du gouvernement d'accueil, ce qui peut se faire par l'élaboration d'un plan de ressources intégré (IRP). Cette politique devient une hypothèse requise pour l'élaboration d'un plan de développement de la transmission (PDT), et les plans de distribution sont élaborés sur la base des données de l'IRP et du PDT. Le processus de planification est itératif et les données relatives à la demande des clients sont réinjectées dans l'environnement politique, ce qui permet d'optimiser les IRP et les PDT et de poursuivre les développements.

En raison de la flexibilité des déploiements des SSE, les plans de l'ensemble de la chaîne de valeur (production, T&D et derrière le compteur) d'un système électrique seront impactés, comme le démontrent les cas d'utilisation. Dans la plupart des plans de ressources intégrés, les projections de la demande de pointe constituent une hypothèse de départ pour les options d'approvisionnement. Avec le déploiement des SSE, cette hypothèse doit être soigneusement évaluée car la demande de pointe peut désormais changer suite au déploiement d'un système SSE (soit par la compagnie d'électricité, soit par un IPP, soit par un client).

Les études d'optimisation et de fiabilité sont donc devenues un aspect important de la planification des services publics. Au lieu de plans de 10 à 20 ans pour les PDT, ce qui est classé comme plans opérationnels de transmission et de distribution (moins d'un an) gagne maintenant en importance car le déploiement de certains SSE peut se faire en quelques jours plutôt qu'en quelques années (comme les BSSE conteneurisés).

Étant donné que certains systèmes d'énergie renouvelables, comme le pompage-turbinage et l'énergie solaire concentrée (ESC) avec stockage, ont des calendriers de construction plus longs, il faudra élaborer traditionnellement des PIR à long terme (20 à 30 ans) ainsi que des PDT à long terme (généralement 10 à 20 ans). Toutefois, les projections de la demande devront être soigneusement étudiées pour que les services publics n'investissent pas trop et pour éviter l'immobilisation d'actifs.

Étude de cas : Développement de nouvelles technologies

Usine de démonstration à l'échelle du réseau de Pilsworth : Air liquide à l'échelle du réseau

La centrale de stockage d'énergie à air liquide (SEAL) de 5 MW/15 MWh à l'échelle du réseau a été mise en service en 2018 et est considérée comme une première mondiale. Les développeurs du projet, Highview Power, se sont associés à GE et Viridor. Le coût a été estimé à 8 millions de livres sterling et la construction a duré 3 ans.

Le système SEAL convertit l'air, qui est stocké sous forme de liquide, en gaz à l'aide d'un processus d'expansion qui libère l'énergie stockée pour entraîner une turbine et produire de l'électricité propre. Contrairement au stockage par batterie, le processus n'utilise pas de métaux ou d'éléments chimiques potentiellement nocifs, l'usine SEAL étant principalement constituée d'acier.

La centrale a une durée de vie de 30 à 40 ans et peut être démantelée facilement sans qu'il soit nécessaire d'éliminer des matériaux dangereux. La longue durée de vie de l'installation lui permet de fournir des niveaux élevés de capacité de stockage d'énergie pour plusieurs réserves, l'équilibrage du réseau et les services de régulation. Outre le stockage de l'énergie, la centrale SEAL convertit également la chaleur résiduelle en électricité en utilisant la chaleur des moteurs à gaz de décharge du site. L'agrégateur Kiwi Power a été choisi pour intégrer l'installation dans le marché des services auxiliaires. Le projet a été financé par le gouvernement britannique. Maintenant que l'installation a fait ses preuves, une installation SEAL à grande échelle de 50 MW/250 MWh est en cours de construction au Trafford Energy Park à Carrington, avec le soutien du gouvernement britannique.

L'évolution rapide de ce type de projet, de la conception à la démonstration, et maintenant à la construction à grande échelle, démontre la vitesse à laquelle la technologie évolue. Avec ce type de technologie, il sera souhaitable qu'un service public collabore avec le développeur, car les spécifications et les conceptions seront toujours spécifiques au développeur. La politique britannique encourageant fermement les nouvelles industries par le biais de la stratégie industrielle moderne, le soutien du gouvernement pour faciliter le développement et la mise en œuvre de l'usine SEAL était essentiel pour que l'installation de démonstration atteigne sa taille maximale. Les ingénieurs planificateurs peuvent désormais inclure cette option dans leurs plans de ressources intégrés en tant qu'option technologique et, puisqu'elle est toujours pilotée par le gouvernement britannique, la planification du déploiement peut être gérée.

Étude de cas :

L'Afrique du Sud a été le premier pays d'Afrique subsaharienne à intégrer des objectifs quantitatifs en matière de SSE dans son plan national d'électricité à long terme : le plan de ressources intégré (IRP) approuvé en 2019 vise à connecter 2 000 MW de BSSE au réseau d'ici 2030. L'IRP du Botswana, approuvé en 2021, comprenait également des objectifs quantitatifs en matière de BSSE, et plusieurs plans directeurs en cours d'élaboration incluaient également ces objectifs, l'objectif principal étant d'intensifier le développement de l'énergie éolienne et solaire grâce à la capacité de stockage.

Risques et défis

Actifs échoués et répartition inefficace des coûts

Le déploiement des SSE sans planification coordonnée avec les services publics peut entraîner la redondance des actifs du réseau ou leur surconception. Un exemple typique est celui de l'écrêtement des pointes et de la planification des réseaux par les services publics pour répondre aux exigences de la demande de pointe. En conséquence, les clients risquent de payer des frais de raccordement plus élevés et l'entreprise de distribution d'électricité risque de percevoir des revenus moindres si l'équilibre entre les coûts fixes et les coûts variables prévu dans le tarif n'est pas atteint. Par conséquent, les planificateurs ont besoin de données continues et cohérentes pour contrôler le déploiement des systèmes électriques et électroniques, et les clients doivent consulter les services publics lorsqu'ils déploient des systèmes électriques et électroniques.

S'en tenir au plan

En raison du rôle essentiel que jouera le stockage de l'énergie dans les systèmes électriques, il est important de mettre en œuvre les projets et les programmes de stockage de l'énergie comme prévu. Un échec dans la mise en œuvre de ces projets et programmes pourrait créer de l'incertitude sur un marché naissant, créant des risques pour les autres utilisateurs de ces technologies et réduisant la demande d'investissements externes dans le stockage de l'énergie dans la région. En outre, le non-respect du plan pourrait également avoir une incidence sur le développement d'autres actifs qui dépendent de la capacité de stockage pour fonctionner de manière optimale.

C'est notamment le cas des projets éoliens et solaires qui pourraient voir leur production et leur rentabilité affectées par la non-matérialisation de l'infrastructure de stockage prévue. Les sources de production conventionnelles, sans stockage d'énergie, pourraient devoir être exploitées de manière irrégulière, ce qui réduirait le cycle de vie de l'investissement. C'est également le cas pour le développement du réseau, qui est généralement dimensionné en fonction de l'offre et de la demande d'énergie entrante et de la capacité de stockage. Dans chaque cas, si d'autres investissements ont été planifiés ou réalisés sur la base de la disponibilité présumée du stockage de l'énergie, la non-réalisation de ce stockage diminuerait les autres investissements, ce qui pourrait retarder le développement d'un système électrique.

Passation de marchés

Introduction

Alors que le déploiement d'actifs de stockage d'énergie devient de plus en plus courant sur les marchés développés et en développement, la conception de l'approvisionnement reste une entreprise complexe qui nécessite l'adaptation des principes fondamentaux de l'approvisionnement dans un nouveau contexte. Le manuel "[Comprendre la passation de marchés pour les projets énergétiques](#)" décrit l'approche générale suivante en matière de passation de marchés :

Une politique d'achat efficace fournit un cadre qui permet aux décideurs politiques d'atteindre certains objectifs. Par exemple, dans le cas d'une politique de passation de marchés visant à développer des projets énergétiques, il est possible d'envisager un ensemble d'options qui auront un impact sur la conception et la mise en œuvre du processus de passation de marchés. Pour que la politique de passation des marchés soit cohérente et homogène, il est important que toutes les parties prenantes impliquées dans la prise de décision et la supervision du processus de passation des marchés partagent les mêmes objectifs. Ces objectifs doivent être équilibrés et classés par ordre de priorité afin d'atteindre les objectifs stratégiques du gouvernement, tels que l'augmentation de la capacité installée ou la croissance de l'économie.

Ces mêmes principes s'appliquent à la passation de marchés de stockage d'énergie. À bien des égards, il convient de mettre l'accent sur des objectifs clairs et sur l'engagement des parties prenantes, car la passation de marchés de systèmes de stockage d'énergie implique des considérations de valeur supplémentaires (production par rapport aux services, augmentation des recettes par rapport aux économies de coûts) et un groupe d'acteurs plus important (fabricants, programmeurs, etc.). Ce chapitre reviendra brièvement sur les orientations générales en matière de passation de marchés du manuel "[Comprendre la passation de marchés pour les projets énergétiques](#)" et mettra en évidence les considérations particulières qui doivent être appliquées au stockage de l'énergie (illustrées par des études de cas).

Étude de cas : Approche expérimentale du Malawi pour l'intégration des BSSE à l'échelle du réseau

Une IPP du Malawi est devenue l'un des premiers propriétaires ou opérateurs d'actifs de génération à intégrer des BSSE à l'échelle du réseau en Afrique australe. L'IPP a associé un BESS de 5 MW/10 MWh à son parc photovoltaïque de 20 MW. Ce couplage ne faisait pas partie de la conception initiale de la centrale, mais l'IPP a décidé d'intégrer l'actif pour répondre en partie aux préoccupations de la compagnie d'électricité concernant l'impact de l'intermittence des centrales solaires photovoltaïques. L'actif BSSE a été rendu possible par la disponibilité de fonds de donateurs et les dépenses d'investissement n'ont pas représenté une part importante des coûts du projet. L'intégration de l'actif de stockage sera maintenant utilisée dans diverses configurations d'exploitation et pour une variété de cas d'utilisation afin de déterminer la meilleure utilisation d'un tel actif au Malawi. Les enseignements tirés de l'exploitation de l'actif pourront ainsi servir de base à l'acquisition d'autres actifs de stockage d'énergie au Malawi et dans le reste de la région. Il s'agit d'un cas d'environnement où les réglementations et les plans d'intégration d'un type d'actif spécifique n'existent pas, mais où le régulateur, le fournisseur et d'autres décideurs sont ouverts à une approche expérimentale, créant ainsi une opportunité d'apprentissage et d'élaboration de réglementations et de plans. Ce type d'approche est souvent rendu possible par des réseaux qui présentent des contraintes importantes et où les décideurs sont ouverts au déploiement rapide d'actifs dans le cadre d'un paradigme de planification flexible.

Principes généraux de la passation de marchés

Le choix d'une procédure de passation de marché et l'élaboration de la documentation associée nécessitent de prendre en compte de nombreux facteurs. Il n'existe pas d'approche unique pour la passation d'un projet énergétique. L'entité adjudicatrice doit garder à l'esprit les objectifs généraux de la passation de marchés tout en tenant compte des spécificités du projet visé.

Structure de passation des marchés

L'une des questions fondamentales de la passation des marchés d'infrastructures est de savoir s'il faut lancer un appel d'offres ou inviter à des négociations directes. L'avantage comparatif de chacune de ces stratégies de passation est trop complexe pour être abordé ici (voir le manuel "*Comprendre la passation des marchés de projets énergétiques*"). En général, les appels d'offres concurrentiels sont considérés comme ayant l'avantage de maximiser la concurrence pour réduire les coûts, mais nécessitent plus de temps pour préparer et mener l'appel d'offres. Les négociations directes sont considérées comme présentant l'avantage d'une mise en œuvre plus rapide et de la flexibilité nécessaire pour faire évoluer les exigences de la passation de marché au fur et à mesure que les négociations progressent, mais elles peuvent souffrir d'un manque de transparence et d'une concurrence moindre. La décision d'adopter l'une ou l'autre de ces structures de passation de marchés peut être influencée par le résultat visé (projets pilotes ou déploiement à grande échelle) et par la capacité de l'entité adjudicatrice à gérer des processus complexes.

Répartition des risques

La manière dont l'entité adjudicatrice répartit les risques dans le cadre de la passation de marché aura également un impact significatif sur l'économie du projet. La philosophie générale de la répartition des risques est que les promoteurs sont attirés par les projets présentant un rapport risque-récompense favorable : plus le risque est faible, plus le marché public peut susciter d'intérêt.

Dans le même temps, l'entité adjudicatrice peut souhaiter attribuer un risque plus important aux développeurs pour les premiers projets ou les technologies émergentes. Cet équilibre des risques est également influencé par les priorités politiques, les contraintes financières et les conditions du marché. Les entités adjudicatrices qui souhaitent attirer des investisseurs soucieux de prendre des risques peuvent recourir à plusieurs stratégies, telles que l'investissement dans la préparation du projet avant la passation du marché, la répartition du risque entre l'investisseur et l'entité adjudicatrice dans les contrats de projet, et l'augmentation du tarif pour récompenser les investisseurs qui assument une plus grande part de risque.

Sources de financement

Dans les marchés en développement où l'accès au capital financier est limité, éventuellement par un secteur bancaire national restreint et/ou par la volatilité des devises, les IFD et les agences de crédit à l'exportation (ACE) jouent un rôle majeur dans le financement de l'infrastructure électrique. Si une entité adjudicatrice anticipe la nécessité d'attirer des fonds des IFD ou des ACE, il serait judicieux de prêter une attention particulière aux aspects du processus de passation de marchés qui concernent le plus ces institutions. Les IFD recherchent souvent des résultats politiques et financiers positifs dans le cadre de leurs prêts en mettant l'accent sur la transparence, l'environnement, l'égalité sociale et la responsabilité fiscale. Pour les ACE, l'obligation d'acheter des biens ou des services dans le pays d'origine de l'ACE peut obliger l'entité adjudicatrice à s'assurer que les spécifications techniques et commerciales de l'achat ne limitent pas (ou n'excluent pas) la capacité d'importer des équipements et des capitaux financiers provenant de sources étrangères.

Mécanismes de réclamation

Bien qu'une grande partie de la planification de la passation de marché doive se concentrer sur les facteurs de réussite, l'entité adjudicatrice doit également prendre en compte le potentiel de résultats négatifs. Le processus de résolution de toute plainte potentielle liée à la procédure de passation de marché doit être établi à l'avance, car il est souvent difficile de négocier un processus de résolution des litiges entre des parties qui sont déjà en désaccord les unes avec les autres.

Les procédures qu'une entité adjudicatrice peut utiliser pour traiter les réclamations sont très probablement limitées par la loi qui régit les marchés publics en général, la passation des partenariats public-privé (PPP) ou les procédures administratives en général. En général, cependant, le processus reposera sur l'utilisation d'une procédure neutre, éventuellement par le biais d'un tribunal indépendant. Lorsque la loi régissant la procédure de passation de marché ne prévoit pas le renvoi des plaintes à un tribunal indépendant, l'entité adjudicatrice peut établir une procédure dans les conditions de passation de marché pour régir la manière dont les parties lésées peuvent déposer des réclamations.

Étude de cas : Énergie solaire concentrée avec stockage

Depuis 2011, l'Afrique du Sud a organisé cinq séries d'appels d'offres concurrentiels dans le cadre du programme REIPPP (Renewable Independent Power Producer Programme), ce qui a permis de créer plus de 6 300 MW de capacité d'énergie renouvelable dans le cadre de 92 projets. 600 MW de cette nouvelle capacité se présentent sous la forme d'énergie solaire concentrée (ESC), qui comprend une capacité de stockage d'énergie. L'appel d'offres REIPPP a commencé par un plan de ressources intégré qui comprenait un objectif d'énergie renouvelable avec stockage. Ensuite, à chaque tour, à l'exception de la quatrième fenêtre d'appel d'offres, une capacité de 50 MW à 200 MW a été attribuée à l'énergie solaire concentrée, y compris une fenêtre d'appel d'offres spéciale consacrée uniquement à l'énergie solaire concentrée. Cette attribution cohérente tout au long des fenêtres d'appel d'offres a permis aux développeurs d'énergie de continuer à affiner leurs propositions de projets. Cette approche progressive s'est également traduite par une baisse des tarifs lors des phases ultérieures. Ainsi, un processus de passation de marchés bien planifié et échelonné pour les technologies en développement peut faciliter à la fois l'adoption et les économies de coûts.

Nom du projet :	<i>KaXu Solar One</i>	<i>Khi Solar One</i>	<i>Bokpoort*</i>	<i>Xina Solar One</i>	<i>Ilanga I</i>	<i>Kathu Solar Park</i>	<i>Redstone</i>
Lieu :	<i>Pofadder</i>	<i>Upington</i>	<i>Groblershoop</i>	<i>Pofadder</i>	<i>Upington</i>	<i>Kathu</i>	<i>Postmasburg</i>
Technologie :	<i>Cuvette parabolique</i>	<i>Tour</i>	<i>Cuvette parabolique</i>	<i>Cuvette parabolique</i>	<i>Cuvette parabolique</i>	<i>Cuvette parabolique</i>	<i>Tour</i>
Stockage de l'énergie thermique :	<i>Sels en fusion</i>	<i>Vapeur saturée</i>	<i>Sels en fusion</i>	<i>Sels en fusion</i>	<i>Sels en fusion</i>	<i>Sels en fusion</i>	<i>Sels en fusion</i>
Capacité nette de la turbine (MW) :	<i>100</i>	<i>50</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
Année de démarrage :	<i>2015</i>	<i>2016</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>	<i>2019</i>	<i>2019</i>	<i>2024</i>
Capacité de stockage :	<i>2.5 hours</i>	<i>2.5 hours</i>	<i>9.3 hours</i>	<i>5 hours</i>	<i>4.5 hours</i>	<i>4.5 hours</i>	<i>12 hours</i>
Statut :	<i>Opérationnel</i>	<i>Opérationnel</i>	<i>Opérationnel</i>	<i>Opérationnel</i>	<i>Opérationnel</i>	<i>Opérationnel</i>	<i>En construction</i>

* En octobre 2020 (mois d'été à forte irradiation), ce projet a battu des records en fonctionnant en continu pendant 310 heures (24 heures sur 24, 7 jours sur 7) avec un facteur de capacité de 83%.

Approches en matière de passation de marchés dans le domaine des SSE

L'approche de la passation de marchés pour les SSE doit être alignée sur la technologie, la conception, l'échelle et la structure du déploiement prévu du stockage de l'énergie afin d'assurer la rentabilité. L'adaptation d'un marché public de systèmes de stockage d'énergie sera influencée par les caractéristiques particulières des technologies de stockage d'énergie disponibles, telles que la maturité, la prévalence des technologies SSE, la dynamique des prix et les risques. Outre la technologie, la passation de marché doit également tenir compte du coût et de la complexité de l'intégration du SSE acheté dans le réseau existant.

Étude de cas : SSE pilotes

Le concept même de stockage d'électricité à grande échelle - le fait de pouvoir stocker une quantité importante d'énergie et de la décharger dans un système électrique donné - est encore un terrain inconnu pour de nombreux services publics dans le monde. Sur la base de l'expérience acquise lors du déploiement des systèmes électriques en réseau existants (par exemple, compteurs intelligents, contrôle-commande ou autre infrastructure de réseau), de nombreux services publics choisissent d'évaluer la viabilité des SSE dans le cadre d'un programme pilote avant de procéder à un déploiement à grande échelle.

Le pilotage d'un SSE ne doit pas être considéré avec moins de rigueur qu'un approvisionnement à grande échelle. Le projet pilote doit être bien conçu, avec une campagne de sensibilisation du marché, la préparation de spécifications techniques détaillées, la structuration des dispositions juridiques et financières du projet, l'exploitation et la maintenance, ainsi qu'une phase de suivi et d'évaluation. Comme pour tous les projets pilotes, l'objectif principal est de tirer des enseignements avant de généraliser la technologie, d'où l'importance d'un processus de mise en œuvre minutieux. L'élaboration de réglementations pour les futurs déploiements de SSE peut se faire en même temps que le projet pilote des SSE, à mesure que le service public et le gouvernement améliorent leurs connaissances et leur capacité à générer de la valeur grâce à un déploiement des SSE.

Voici un résumé succinct et non exhaustif des considérations particulières qui doivent être prises en compte dans la conception de l'approvisionnement en énergie solaire.

Considérations particulières liées à l'acquisition de SSE

Les principaux facteurs qui influencent le type de passation de marchés à entreprendre sont les suivants :

- ◆ Flexibilité des spécifications - Le stockage de l'énergie est envisagé dans presque tous les pays, pour des applications à l'échelle du réseau, des mini-réseaux, hors réseau et des véhicules électriques. Mais passer d'une vision à une politique, puis d'une politique à un cadre réglementaire peut être un long processus au cours duquel les technologies et les besoins du réseau peuvent évoluer. Par conséquent, les plans et les processus d'approvisionnement doivent être créés de manière à prendre en compte non seulement les besoins actuels, mais aussi les besoins futurs. À cet égard, il est nécessaire de prendre en compte, lors de la conception du marché, le modèle commercial prévu pour la ressource achetée.
- ◆ Flexibilité dans l'approche de la passation de marchés - Lorsque l'intégration de la technologie de stockage de l'énergie n'est pas encore envisagée ou planifiée, il se peut qu'un projet autonome émerge, soit pour renforcer un projet ERV, soit pour répondre à un besoin de stockage spécifique ; une passation de marchés ad hoc peut être envisagée dans ce cas, sur une base pilote et en recourant à la régulation par contrat.
- ◆ Prise en compte des règles et réglementations existantes en matière de marchés publics - Indépendamment de la politique de stockage de l'énergie et du cadre réglementaire, il se peut que d'autres règles et lignes directrices - notamment en matière de marchés publics - n'autorisent pas la passation de marchés pour des actifs SSE à grande échelle. D'autres règles (douanières, environnementales et de sécurité) peuvent également constituer un obstacle. À l'inverse, certains pays ont accéléré les règles de passation des marchés pour les projets pilotes qui pourraient être bien adaptés aux SSE. Dans ce cas, l'entité adjudicatrice et les soumissionnaires potentiels doivent s'assurer que les marchés ne risquent pas d'échouer parce qu'ils ne font pas référence aux lois et réglementations nationales.

- ♦ Manque d'expérience en matière de technologie - Le manque de connaissance de la dégradation ou de l'usure de certaines technologies SSE peut mettre en péril les performances/flux de revenus prévus. Les entités qui gèrent les procédures de passation de marchés et les soumissionnaires doivent s'assurer que les garanties et les garanties de performance couvrent suffisamment le risque technologique. Pour les technologies de niche, les acheteurs doivent anticiper le risque d'attribuer une capacité trop importante à une seule technologie et à un seul fournisseur. Cela soulève la question de la répartition des marchés entre certains fournisseurs de technologies propriétaires ou de la spécification, dans les conditions du marché, d'une technologie ayant de nombreux fournisseurs de services potentiels ou utilisant des plates-formes ou des protocoles technologiques ouverts. Le risque que la nouvelle technologie ne s'intègre pas bien à l'infrastructure existante mérite également d'être pris en compte dans la structuration des marchés. L'acheteur et le soumissionnaire doivent négocier le partage de ce risque lorsqu'il n'existe pas de données suffisantes.

Risques et défis

Spécification et conception détaillée du SSE

Lors de la passation d'un marché pour un SSE, l'entité qui passe le marché a la responsabilité de spécifier les exigences nécessaires pour répondre aux besoins identifiés. Il peut s'agir d'une spécification de haut niveau ou d'une spécification détaillée. Si le système faisant l'objet du marché est mal défini, les entrepreneurs participant à l'appel d'offres risquent de ne pas répondre aux attentes, ce qui entraînera l'échec de la passation de marché, ou l'acheteur acquerra un système qui ne répondra pas de manière adéquate aux besoins identifiés.

Dans certains cas, la charge de l'élaboration d'un projet détaillé peut être attribuée au contractant en vertu des conditions du marché. Cela peut entraîner une augmentation des coûts du système, mais contribue à garantir que le risque de performance insuffisante du système repose sur le contractant (qui aura probablement plus d'expérience dans la gestion de ce risque). Lorsque l'acheteur a la capacité de concevoir des systèmes en interne, il existe toujours un risque technique de sous-performance, mais il est également possible de réaliser des économies. Dans les deux cas, l'acheteur doit avoir une bonne connaissance des technologies disponibles pour spécifier les résultats et les exigences qui guident le processus de conception.

Étude de cas : Passation de marchés de SSE en Afrique du Sud

Depuis 2018, l'Afrique du Sud s'est lancée dans une ambitieuse aventure de développement du marché des SSE, avec l'intention d'atteindre plusieurs objectifs clés, notamment (i) aider à intensifier le développement des énergies renouvelables, (ii) permettre la transition énergétique juste (TEJ) du pays, (iii) créer plus de flexibilité et de fiabilité dans son réseau et (iv) développer une taille de marché critique pour tous les segments de la création de la chaîne de valeur des SSE.

La compagnie nationale d'électricité, Eskom, a conçu son programme de démonstration BSSE en 2018, en s'appuyant sur l'expérimentation réussie de diverses technologies dans son centre de recherche depuis 2016. Eskom était convaincue qu'une capacité de stockage d'énergie substantielle serait nécessaire pour faire face aux défis croissants des systèmes électriques, c'est-à-dire la pente croissante de la montée en puissance de la charge de pointe du soir coïncidant avec l'arrêt de la production d'énergie solaire photovoltaïque au coucher du soleil. Du point de vue de la compagnie d'électricité, l'ajout de BSSE à différents endroits du réseau - en colocalisation avec les sous-stations d'Eskom - aiderait considérablement le système électrique à faire face à la variabilité d'un parc de production d'énergie éolienne et solaire photovoltaïque en constante augmentation.

L'IRP du secteur de l'électricité approuvé par le Cabinet sud-africain en octobre 2019 a été un pilier essentiel soutenant l'ambition du gouvernement et a été innovant à bien des égards : c'était le premier plan directeur en Afrique à placer l'éolien et le solaire comme les technologies les moins coûteuses et à avoir des objectifs explicites pour les BESS. Lors de la préparation de l'IRP, il a été reconnu que le programme BSSE d'Eskom servirait de programme de démonstration, avant une éventuelle extension de l'utilisation de la technologie BSSE dans le pays.

En effet, le programme BESS d'Eskom a ouvert la voie au développement des BSSE en Afrique du Sud, notamment en contribuant à la préparation du code de réseau BSSE, en faisant approuver les premières évaluations des incidences sur

l'environnement (EIE) pour l'infrastructure BSSE, et en organisant plusieurs tournées de présentation pour attirer les fournisseurs et les intégrateurs de BSSE sur le marché sud-africain. En conséquence, Eskom a attribué six sites BESS en mars 2022, pour une capacité totale de 860 MWh, à construire et à mettre en service avant juin 2023.

Le programme BSSE d'Eskom a suscité un vif intérêt de la part du marché international de l'approvisionnement en BSSE, qui considère le marché sud-africain du stockage de l'énergie comme une plateforme à partir de laquelle le marché des BSSE pourrait se développer dans l'ensemble de l'Afrique. La réaction positive du marché jusqu'à présent a encouragé le gouvernement sud-africain à intensifier le déploiement de la technologie BSSE : un appel d'offres pour une capacité de 513 MW est en cours de préparation pour que les IESP préparent leurs offres d'ici à la fin de 2022. Elle a également contribué au RMIPPPP qui est actuellement en cours de passation de marché.

L'IRP de l'Afrique du Sud vise à avoir au moins 2 000 MW de BSSE dans son système électrique d'ici 2030. Compte tenu de la croissance du marché déjà évoquée, du besoin pressant de fiabilité de l'électricité dans le pays, des volumes importants d'énergie renouvelable intermittente qui arrivent et de la transition énergétique globale du secteur, on s'attend à ce que cet objectif soit facilement atteint. En outre, le programme de reconversion et de réalimentation d'Eskom prévoit que les BSSE fassent partie des options de reconversion, en remplacement des centrales au charbon mises hors service ; la technologie BSSE fait donc pleinement partie du programme de transition énergétique de l'Afrique du Sud. La croissance de la fabrication de BESS dans le pays est en passe de devenir un vecteur de croissance verte créant des emplois locaux durables qui jouent également un rôle important dans la création d'avantages socio-économiques liés à la TEJ.

En quatre ans seulement, les entités publiques sud-africaines ont procédé à de multiples types de passation de marchés pour les BSSE : expérimentation et tests technologiques, pilotage et démonstration, passation de marchés pour la production d'urgence et - bientôt - vente aux enchères pour l'IESP. L'ampleur du marché potentiel a certainement joué un rôle dans la réussite des processus de passation de marchés à ce jour, avec des expositions itinérantes bondées lorsque le programme BSSE d'Eskom a été présenté aux fournisseurs potentiels et avec des offres inférieures ou égales aux budgets estimés (ce qui, par rapport

aux résultats historiques, était étonnamment compétitif pour le premier appel d'offres d'un programme pilote). L'enchaînement des événements a également joué un rôle important dans le succès de ce programme : (i) les codes de réseau du BSSE ont été approuvés avant que les premières offres financées par le secteur privé ne soient présentées et (ii) les préoccupations des autorités chargées de l'octroi des licences en matière d'environnement et de sécurité ont été prises en compte avant le premier grand appel d'offres public.

Le cas de l'Afrique du Sud a été examiné par les pays et les services publics voisins, qui suivent maintenant des étapes similaires dans le développement de leurs infrastructures de stockage de l'énergie, par exemple, un appel d'offres et une demande de renseignements pour les BSSE en Namibie et au Lesotho, respectivement, et des objectifs de déploiement des BSSE dans l'IRP du Botswana.

Contrats

Introduction

La technologie innovante et l'utilité flexible des systèmes de stockage d'énergie sont souvent au centre des préoccupations de ceux qui envisagent de déployer de tels systèmes. Toutefois, la structuration de ces projets peut être tout aussi unique. S'appuyant sur l'aperçu des modèles d'entreprise présenté dans le chapitre précédent, ce chapitre donne un aperçu des considérations au niveau du contrat pour l'acquisition et le déploiement des SSE, y compris un tableau résumant la concordance entre les contrats et les modèles d'entreprise. Comme pour les modèles d'entreprise, la structure de la conception, de la propriété et de l'exploitation d'un projet peut varier considérablement, chaque permutation nécessitant un contrat qui identifie et répartit les risques de manière appropriée entre les parties.

Le présent chapitre décrit le type et les caractéristiques générales des contrats requis pour un projet de SSE. Pour une explication plus détaillée du contenu de ces accords et de la répartition des risques, veuillez vous référer aux manuels *Comprendre les accords d'achat d'électricité* et *Comprendre le financement des projets d'électricité*.

Contrats pour un SSE appartenant au service public

La structure contractuelle la plus simple est celle d'une entreprise de services publics verticalement intégrée qui a l'intention de développer, de posséder et d'exploiter un SSE. Selon le modèle de propriété du service public utilisé (voir le chapitre sur les modèles commerciaux publics et privés pour plus de détails), le service public devra conclure une série de contrats de conception, de construction et/ou d'exploitation. Elle peut conclure un contrat EPC clé en main et à prix forfaitaire avec un seul entrepreneur ou un consortium d'entrepreneurs. Elle pourrait également conclure plusieurs contrats de fourniture et de construction dans le cadre desquels plusieurs entrepreneurs fourniraient et construiraient divers éléments du projet. Les systèmes de stockage d'énergie peuvent être gérés à long terme dans le cadre d'un accord d'exploitation et de maintenance (E&M), qui est souvent signé avec des entreprises ayant une grande expérience de la gestion de la complexité du stockage d'énergie.

En outre, le fabricant de l'équipement d'origine peut être amené à fournir des services spécialisés et des pièces de rechange. Ce dernier fournit généralement ces services et pièces de rechange dans le cadre d'un contrat de service à long terme (CSLT) conclu entre le propriétaire et le fabricant de l'équipement d'origine.

IPP, y compris les projets SSE et IESP

Le rôle prépondérant des promoteurs privés dans les modèles d'entreprise des IPP, y compris les SSE et les IESP, se traduit par un cadre contractuel qui implique de multiples parties et de nombreuses obligations qui se chevauchent. Ce cadre contractuel comprend généralement :

- ◆ Documents constitutifs - Documents permettant de créer une société de projet (également connue sous le nom de société à finalité spécifique) pour détenir les actifs du SSE et exploiter le projet, y compris les articles d'organisation et les statuts.
- ◆ Documents relatifs aux actionnaires - Accords régissant les relations entre les actionnaires de la société de projet. L'accord définit souvent les droits des actionnaires (c'est-à-dire le droit de participer aux bénéfices du projet) et leurs obligations (c'est-à-dire l'apport de fonds propres pour le développement du projet).
- ◆ Accord de prélèvement - Accord bilatéral par lequel la société de projet s'engage à vendre, et un service public à acheter, l'énergie et les services de stockage produits par le projet.
- ◆ Documents de soutien du gouvernement - Un engagement du gouvernement hôte envers la société de projet (et ses prêteurs) pour atténuer les risques qui échappent au contrôle des développeurs du projet, y compris un soutien au crédit qui peut prendre la forme (i) d'une garantie directe des obligations générales du service public dans le cadre de l'accord d'achat, (ii) d'un accord d'option de vente et d'achat qui définit les paiements à effectuer si le projet est interrompu, et (iii) d'un soutien de liquidité, souvent sous la forme d'une lettre de crédit permanente, pour les obligations de paiement régulières du preneur d'électricité. Ces accords de soutien au crédit peuvent être complexes dans leur propre conception contractuelle et sont traités en détail dans le manuel " *Comprendre le financement des projets d'énergie* ".

- Documents de financement - Les documents de prêt (les accords en vertu desquels les prêteurs de premier rang mettront le financement de la dette à la disposition de la société de projet), qui peuvent inclure un accord de conditions communes, un ou plusieurs accords de facilité, un accord d'intercrédit, et les documents qui créent une sécurité sur les actions de la société de projet et tous les actifs de la société de projet, y compris une cession de garantie des accords de projet.
- ◆ Contrats de construction - Une série d'accords souvent liés entre le développeur du projet et les entreprises de construction pour la conception, l'ingénierie, la fourniture, la construction et l'installation des installations de production et de stockage d'énergie et leur connexion au réseau.
 - Accord de service à long terme - Accord de service à long terme en vertu duquel le fabricant de l'équipement d'origine peut fournir (i) des services spécialisés périodiquement nécessaires à l'entretien du projet et (ii) des pièces de rechange et des pièces de remplacement ; et
 - Accord d'exploitation et de maintenance (E&M) - Contrat à long terme parallèle à l'accord d'enlèvement en vertu duquel un contractant - souvent une société affiliée aux développeurs du projet possédant une expérience significative - gèrera l'exploitation et la maintenance quotidiennes du projet.

Contrats pour les mini-réseaux privés

Comme indiqué dans le chapitre sur les *modèles commerciaux publics et privés*, les marchés en développement connaissent une augmentation des investissements dans les mini-réseaux privés. La structure de ces projets reflète souvent celle d'un IPP, y compris les SSE, mais inclut également la nécessité de répartir les risques liés à la construction et à l'exploitation du réseau de distribution pour acheminer l'électricité aux clients. Par conséquent, la quasi-totalité des mini-réseaux, tels que décrits ci-dessus, impliquent des contrats de construction, un accord d'exploitation et de gestion et un accord de service à long terme.

La structure de propriété du mini-réseau, telle qu'elle est définie dans les documents constitutifs, peut également être similaire à celle d'une IPP incluant des SSE, mais elle peut être plus complexe. En particulier dans le cas des mini-réseaux de petite taille, il est probable que le mini-réseau soit détenu par une société qui possède plusieurs mini-réseaux (éventuellement par l'intermédiaire d'une société de projet spécialisée). Contrairement à une société de projet qui se concentre sur un seul projet dans le cadre d'un modèle de financement de projet, ces sociétés de portefeuille peuvent utiliser le portefeuille plus étendu d'actifs comme garantie pour emprunter des fonds dans le cadre d'une structure financière de société ou de titrisation (voir le manuel *Comprendre le financement des projets d'énergie*) pour lever des fonds et peuvent utiliser ces fonds pour développer plusieurs projets simultanément.

Contrats de location

La nature limitée dans le temps des contrats de location peut être la principale structure contractuelle pour le déploiement des SSE (comme indiqué dans le chapitre sur les modèles d'affaires publics et privés) ou la base pour l'acquisition d'un actif SSE dans le cadre d'une PIP plus permanente, y compris les projets SSE ou PSIE. Dans les deux cas, ce contrat comprendra un engagement du propriétaire à déployer le SSE sur un site particulier et l'obligation pour le locataire (la partie contractante pour les services du SSE) d'effectuer des paiements réguliers tout au long de la période de location. La structure contractuelle peut être un contrat de location-financement (lorsque la durée du contrat couvre la majeure partie de la durée de vie utile prévue du SSE) ou un contrat de location-exploitation (un contrat de location d'une durée beaucoup plus courte que la durée de vie utile prévue du SSE).

Tableau récapitulatif

Le tableau ci-dessous résume les différents contrats et les modèles économiques correspondants :

Contrat	SSE appartenant aux services publics	IPP y compris SSE	IESP	Mini-réseau
Documents constitutifs		✓	✓	○
Documents destinés aux actionnaires		✓	✓	○
Accord d'enlèvement		✓	○	○
Documents d'appui du gouvernement		✓	✓	○
Documents de financement		✓	✓	○
Contrats de construction	✓	✓	✓	✓
Accord de service à long terme	✓	✓	✓	✓
Accord E&M	○	✓	✓	

Légende

- ✓ Contrat généralement requis
- Un contrat peut être exigé

Les documents constitutifs, les documents destinés aux actionnaires, les documents d'appui aux pouvoirs publics et les documents de financement sont traités dans la série d'ouvrages intitulée "Comprendre". Ce chapitre met l'accent sur certaines questions clés qui devraient être abordées dans le reste des accords décrits ci-dessus.

Accords d'enlèvement

Pour les projets structurés selon le modèle IPP, y compris le SSE, le fournisseur et la société de projet concluront un accord de vente et d'achat de la production du projet. Cela s'applique également aux projets structurés selon le modèle IESP, où le travail peut être un service plutôt qu'une fourniture d'électricité. Lorsqu'un service public achète des fonctions de stockage dans le cadre de l'un ou l'autre de ces modèles, le contrat d'achat définit les principaux droits et obligations du service public et de la société de projet. Il constitue l'essentiel de ce que le service public paie et est le fondement commercial du projet.

Bien que les termes de l'accord d'enlèvement puissent varier en fonction des technologies et des cas d'utilisation, ils couvriront généralement un ensemble de droits, d'obligations et de recours. En tant qu'accord fondamental, les parties à l'accord d'enlèvement et les autres parties prenantes au projet seront intéressées par sa structure. Ce groupe de parties intéressées peut être assez large. Il peut comprendre la société de projet, les prêteurs, le preneur, le régulateur et, en fonction de la structure du marché, des entités plus générales telles que le gestionnaire du réseau de transport et le gestionnaire du réseau.

On trouvera ci-après un aperçu général des principaux types d'accords d'enlèvement, une sélection de dispositions clés et un résumé d'autres accords de projet. Cet aperçu suppose que le lecteur est déjà familiarisé avec la structure contractuelle générale des projets de production d'électricité, qui présentent d'importantes similitudes, et se concentre principalement sur les aspects uniques du stockage d'énergie qui peuvent nécessiter des différences par rapport aux accords de projets de production. Pour une explication de la structure générale des projets de production d'électricité, il est fortement recommandé de consulter d'abord les autres volumes de la série *Comprendre, en particulier le manuel Comprendre les accords d'achat d'électricité*.

IPP, y compris les accords d'achat de SSE

Pour les projets qui associent un SSE à une installation de production, la structure de l'accord d'achat s'alignera sur la production que le client ou la compagnie d'électricité cherche à obtenir. Comme indiqué précédemment, sur la plupart des marchés en développement, le coût de l'actif de stockage d'énergie est incorporé dans le tarif général défini par le CAE (voir le manuel Comprendre les contrats d'achat d'électricité). Ce type de contrat ne prévoit généralement pas de tarification distincte pour l'utilisation du SSE. Au lieu de cela, la combinaison d'une redevance de capacité et d'énergie commune à la plupart des CAE est ajustée pour tenir compte du coût supplémentaire attendu du SSE pendant la durée du contrat.

Lorsque le client ou le service public souhaite pouvoir répartir les capacités de production et de SSE d'une PIP, y compris les SSE séparément, l'accord d'achat doit être ajusté pour prévoir une tarification à la fois pour la production (tarif) et pour les services de stockage d'énergie (disponibilité et autres paiements). L'obligation de performance du projet serait également divisée, avec des définitions distinctes pour la capacité du système de production et la disponibilité du SSE. Outre les conditions distinctes de tarification et de performance prévues par le contrat, des ajustements doivent également être apportés au système de suivi et de comptabilité du projet.

Accords sur les achats de l'IESP

La nature spécifique des SSE dans un projet IESP nécessite un accord contractuel qui reflète la nature flexible de ces ressources. En même temps, en tant qu'investissement, il faut être sûr de pouvoir générer des revenus prévisibles à partir du projet. L'accord le plus courant est un accord de services énergétiques dans lequel la société de projet construit le projet et accorde au fournisseur, généralement un service public, le droit de dispatcher le SSE. Dans le cadre de ce contrat, le fournisseur aura le droit de choisir quand charger et décharger le SSE à des fins de production ou de service. Bien que l'entreprise de services publics conserve un pouvoir discrétionnaire important sur l'utilisation du SSE, l'accord définira toujours une formule de tarification pour

l'utilisation prévue du système. L'accord imposera également au développeur du projet l'obligation de respecter et de maintenir des exigences de performance détaillées pour le système afin de s'assurer qu'il apporte les avantages escomptés au service public

Au fur et à mesure que les marchés de l'électricité s'éloignent des accords bilatéraux pour s'orienter vers des marchés ouverts où les acheteurs et les vendeurs font des offres pour la production et les services, l'accord de services énergétiques pour une IESP peut devenir plus ouvert. Par exemple, l'IESP pourrait conserver le contrôle de la répartition, ce qui aboutirait à une situation où le système est à la disposition de la compagnie d'électricité (c'est-à-dire qu'il réagit à son signal de répartition). Cependant, l'IESP serait par ailleurs libre d'exploiter le SSE pour répondre aux signaux du marché et générer des revenus supplémentaires.

Accord derrière le compteur

Une autre grande catégorie d'accords de prélèvement est l'accord derrière le compteur, dans lequel le SSE est installé sur le site du client (résidentiel, commercial, industriel, etc.) et utilisé par lui pour augmenter sa consommation d'énergie actuelle. Lorsque le client est propriétaire du SSE, aucun accord de prélèvement n'est nécessaire puisque le propriétaire est libre d'utiliser le système comme il l'entend. Toutefois, lorsque le SSE est détenu et exploité par un investisseur privé, un accord de prélèvement sera nécessaire pour définir la relation entre le client et le fournisseur de stockage. Ces contrats d'enlèvement peuvent prendre deux formes principales :

- ◆ Un accord de vente de toute l'énergie produite dans le cadre de l'accord de prélèvement à un client (soit pour décaler le moment de la disponibilité de l'énergie provenant d'une ressource intermittente, soit pour améliorer la fiabilité pour le client) ; ou
- ◆ Un accord visant à accorder un certain contrôle sur le système de stockage d'énergie, individuellement ou en combinaison avec d'autres systèmes de stockage d'énergie, à un service public (pour permettre de réduire les pics de consommation d'énergie ou de répondre à un autre service de réseau requis). Chaque type d'accord d'enlèvement comportera des dispositions particulières qui entraîneront des négociations différentes.

Considérations clés

Définition des services

Pour conclure un accord d'enlèvement concernant un SSE particulier, le fournisseur et la société de projet doivent se mettre d'accord sur les cas d'utilisation spécifiques envisagés dans le cadre du contrat. L'accord sera basé sur le marché individuel et le cadre réglementaire au moment de la conclusion du contrat et peut considérer que certains cas d'utilisation satisfaits par le système de stockage d'énergie seront fournis au fournisseur et que d'autres appartiendront à la société de projet (y compris pour la vente à un autre fournisseur). Par exemple, une société de projet peut fournir des services de fiabilité à un client industriel, mais lors des pics de demande, elle fournit également des services de réponse à la demande au réseau. Supposons que le fournisseur et la société de projet aient le droit d'utiliser le système de stockage d'énergie pour répondre à leurs besoins. Dans ce cas, le contrat d'enlèvement doit prévoir des règles de priorité pour déterminer quels cas d'utilisation prévaudront en cas de conflit. Bon nombre des autres dispositions clés d'un contrat de rachat de stockage d'énergie seront adaptées sur la base de cet accord préliminaire entre les parties afin de garantir que chaque partie reçoit les services nécessaires pour satisfaire le cas d'utilisation prévu, y compris des mécanismes de compensation et de pénalité adaptés.

Structures tarifaires

Les structures tarifaires pour les accords de stockage d'énergie varient en fonction de la technologie et du cas d'utilisation. Le tarif d'une IPP comprenant un SSE comprendra probablement un paiement pour la disponibilité et un paiement pour l'énergie, en particulier si le fournisseur détient le droit de dispatcher la centrale. La composante "disponibilité" d'un tel tarif sera payable en fonction de la capacité de stockage de l'énergie, indépendamment du fait que cette capacité de stockage soit utilisée ou cyclée, ou de la fréquence à laquelle elle l'est. Le paiement de l'énergie présente généralement les caractéristiques suivantes :

- ◆ permettre à la société de projet de récupérer la valeur de l'énergie

perdue pendant la charge, le stockage et la décharge ; et

- ◆ Permettre à la société de projet de récupérer tous les coûts variables d'exploitation et de maintenance liés à la charge, au stockage et à la décharge de l'énergie.

Il convient de noter que le paiement de la disponibilité décrit ci-dessus concerne uniquement la capacité de stockage de l'énergie, et non la capacité de production d'électricité. En outre, supposons que le fournisseur choisisse de ne pas distribuer la centrale lorsque le système de stockage de l'énergie est déjà en place. Dans ce cas, les paiements de réduction ou de production présumée seront payables dans la même mesure qu'ils le seraient pour un projet d'énergie renouvelable qui ne comprend pas de système de stockage d'énergie.

Si la société de projet détient le droit de dispatcher la centrale, le tarif peut être structuré de manière à ce que seul un paiement pour l'énergie soit versé. Cette structure exigerait que le paiement de l'énergie soit dimensionné de manière à permettre à la société de projet de recouvrer ses coûts.

Une autre structure tarifaire potentielle prévoit un paiement à la société de projet chaque fois qu'elle répond avec succès à un signal de l'opérateur du système pour répondre à un cas d'utilisation prévu. Cette dernière structure de tarification exigerait de la société de projet qu'elle dispose de différentes sources de revenus afin de garantir des revenus suffisants pour rendre le projet viable et finançable. Cette diversité de sources de revenus est souvent appelée "pile de revenus".

Quelle que soit la structure du tarif, les revenus perçus par la société de projet doivent être suffisants pour lui permettre de :

- ◆ Payer les dépenses d'exploitation et de maintenance au fur et à mesure qu'elles sont engagées ;
- ◆ Assurer le service de ses dettes en payant le principal et les intérêts lorsqu'ils deviennent exigibles et payables sur la durée des prêts du projet ;
- ◆ Prévoir le retour des fonds propres investis dans le projet par les investisseurs pendant la durée de vie du projet ;

- ◆ Prévoir un retour raisonnable sur les capitaux investis dans le projet par les investisseurs pendant la durée de vie du projet ; et
- ◆ Payer l'impôt sur les sociétés sur le revenu net de la société de projet et les autres tarifs au fur et à mesure que ces impôts sont encourus.

Réduction

Comme dans tout projet de production d'énergie, l'intégration d'un système de stockage d'énergie peut limiter le réseau électrique. Par conséquent, le concept de réduction peut s'appliquer en cas d'urgence due à une forte production, à une faible production ou à d'autres situations. Il y a réduction lorsque le fournisseur ou l'exploitant du réseau, malgré la capacité continue du projet à produire de l'énergie, décide de cesser d'acheter de l'électricité ou de réduire la production du système de stockage d'énergie pendant un certain temps. La société de projet doit se protéger contre ces situations dans lesquelles elle perd sa capacité à gagner des revenus malgré la capacité continue du projet à fonctionner, afin de pouvoir demander une compensation au fournisseur. L'étendue des réductions autorisées, les paiements réputés pour la production et le transfert des coûts associés peuvent être des dispositions très négociées. Dans la plupart des cas, les paiements de réduction ne seraient pas payables dans le cadre d'un accord d'achat pour un système de stockage d'énergie autonome.

Exigences en matière de charge

Le contrat d'enlèvement doit comprendre des dispositions relatives à la charge du système de stockage d'énergie, tant en ce qui concerne les périodes pendant lesquelles la charge est autorisée que la question de savoir si le fournisseur, la société de projet ou le client paiera pour l'énergie nécessaire à la charge du système de stockage d'énergie. Un système hybride de stockage d'énergie peut avoir besoin de l'énergie du réseau pour se charger pendant les périodes où la source d'énergie primaire n'est pas disponible ou n'est disponible qu'en quantités réduites (pendant les périodes de faible irradiation solaire ou de faible vitesse du vent, par exemple). Le gestionnaire de réseau peut autoriser l'importation d'énergie pour la charge dans des conditions spécifiques et se coordonner avec le fournisseur pour compenser le coût de

l'importation par les recettes provenant des accords d'achat. Le moment de la recharge de l'installation devra être convenu avec l'opérateur du système afin de s'assurer qu'aucune charge supplémentaire n'est créée pendant les périodes de demande de pointe. Dans le cas d'un système de stockage d'énergie autonome, la société de projet peut charger à partir du réseau à un moment convenu avec le gestionnaire de réseau. Les systèmes de stockage d'énergie derrière le compteur seront généralement traités comme n'importe quel autre consommateur d'électricité.

Garanties de bonne fin, pénalités et défaillances

Un contrat d'achat de stockage d'énergie contiendra certaines garanties de performance liées aux cas d'utilisation envisagés et à la performance des attributs techniques du SSE. Ces garanties de performance comprennent le niveau de performance promis par la société de projet au preneur. En règle générale, il existe deux moyens différents d'inciter la société de projet à atteindre la garantie de performance. Les garanties de performance et les seuils sont des dispositions hautement négociées.

Le premier niveau est celui des dommages-intérêts libératoires. Supposons que le non-respect d'une garantie de performance soit léger. Dans ce cas, la société de projet devra payer des dommages-intérêts au preneur, en fonction du montant ou de la durée de la défaillance. Le deuxième niveau est celui de la défaillance. Si la performance est plus mauvaise et plus éloignée de la garantie de performance, un cas de défaillance peut se produire et le preneur peut résilier l'accord d'enlèvement. Par exemple, seule la société de projet peut fournir une garantie de performance selon laquelle la disponibilité sera égale ou supérieure à 95%. Dans cet exemple, si la disponibilité est égale ou supérieure à 95%, il n'y a pas d'effets sur l'accord d'enlèvement. Si la disponibilité est inférieure à 95% mais supérieure à 70%, la société de projet paiera des dommages-intérêts au preneur. Enfin, si la disponibilité réelle est inférieure ou égale à 70%, le preneur peut choisir de résilier l'accord d'enlèvement.

Les garanties de performance doivent être adaptées aux cas d'utilisation particuliers et aux caractéristiques de performance technique de la technologie SSE envisagée dans le cadre de l'accord d'enlèvement et

peuvent être limitées à une garantie de performance ou à des garanties de performance multiples. Parmi les garanties de performance typiques, on peut citer les suivantes :

- Capacité - La société de projet garantit que le système de stockage d'énergie conservera la capacité convenue de stocker de l'énergie chaque fois qu'il sera testé ;
- Disponibilité - La société de projet garantit que le système de stockage d'énergie pourra être utilisé par le fournisseur pendant un certain pourcentage d'heures au cours d'un mois ou d'une année ;
- Rendement - La société de projet garantit que le système de stockage d'énergie maintiendra des rendements particuliers pendant la charge, lorsque le système est au repos et pendant la décharge (par exemple, un rendement énergétique aller-retour) ;
- Chargement/déchargement - La société de projet garantit que le système de stockage d'énergie sera capable de charger ou de décharger l'énergie à un taux spécifique au fil du temps ; et
- Temps de réponse - La société de projet garantit que le système de stockage d'énergie répondra à un signal de distribution ou de charge du fournisseur dans un certain délai à compter de la réception de ce signal.

Tests

Les tests des garanties de performance et des fonctions du SSE seront exigés comme condition de l'exploitation commerciale, puis périodiquement (peut-être annuellement) après le début de l'exploitation commerciale, afin d'assurer la conformité avec les garanties de performance contractuelles. Un point hautement négocié concernera les contre-essais facultatifs. Si le projet ne fonctionne pas selon les normes démontrées lors du test annuel précédent ou si la société de projet a réparé un défaut démontré lors du test annuel le plus récent, le preneur ou la société de projet, selon le cas, demandera le droit d'effectuer un nouveau test avant le test annuel suivant. Toutefois, l'autre partie peut s'opposer à la possibilité d'effectuer un nouveau test. La répartition des coûts associés aux tests ou aux nouveaux tests doit également être incluse dans l'accord d'enlèvement. Toutefois, les tests obligatoires sont généralement effectués aux frais du preneur et les tests facultatifs

sont effectués aux frais de la partie requérante. Le résultat des tests déterminera également les dommages-intérêts forfaitaires payables par la société de projet. Les essais prévus par l'accord d'enlèvement doivent être adaptés au cas d'utilisation et à la technologie et doivent être alignés sur les garanties de performance fournies dans le cadre des contrats de construction et de l'accord de service à long terme.

Mesure

Lors de la conception d'un projet de SSE (en particulier d'une IPP comprenant un SSE), il est essentiel de tenir compte du nombre et de l'emplacement des compteurs relatifs à la ressource de production et à la ressource de stockage d'énergie, afin que tous les aspects du rendement et les pertes soient bien saisis aux fins de l'établissement de rapports. Par exemple, une technologie de stockage d'énergie ayant un taux de décharge au repos élevé (la quantité d'énergie perdue par le système lorsqu'il reste inactif) pourrait être mieux servie en ajoutant deux compteurs à proximité du projet de production pour mesurer l'énergie déchargée sur le réseau et l'énergie utilisée pour charger le système de stockage d'énergie. Sans ces compteurs, l'énergie déchargée lorsque le système est au repos pourrait amener le fournisseur à penser que la ressource de production ne fonctionne pas de manière optimale.

Contrôle du système

La contrôlabilité d'un système de stockage d'énergie est une question qui se pose pour tous les types de systèmes de stockage d'énergie, mais elle revêt une importance particulière pour les projets hybrides. Si la société de projet contrôle la distribution, elle peut être en mesure de maximiser ses revenus. En revanche, si c'est le fournisseur qui contrôle la distribution, il peut disposer d'une plus grande souplesse pour utiliser le SSE afin de répondre aux demandes spécifiques du réseau à tout moment. La rapidité avec laquelle les instructions de contrôle peuvent être émises et suivies d'effet est également importante.

Conditions préalables à COD

Le contrat type d'achat de stockage d'énergie contient plusieurs conditions préalables qui doivent être remplies pour que le

projet puisse être exploité commercialement. Certaines de ces conditions seront similaires à celles que l'on trouve dans n'importe quel CAE (comme la réception des licences nécessaires ou la certification par des personnes responsables que les conditions préalables ont été remplies et que le projet n'est pas en défaut). D'autres encore seront spécifiques à la technologie et pourront se concentrer sur les résultats des tests requis. Étant donné que les revenus dépendront de la réussite de l'exploitation commerciale du projet, il est essentiel de comprendre quelles sont ces conditions préalables et de confirmer qu'elles pourront être remplies au moment prévu pour l'exploitation commerciale.

Flexibilité

L'une des principales valeurs d'un système de stockage d'énergie est sa flexibilité, qui lui permet de répondre à de nombreux cas d'utilisation différents et de fournir divers services, qui peuvent être fournis simultanément. La négociation d'un contrat d'enlèvement pour le système de stockage d'énergie doit tenir compte de cette flexibilité. Dans la plupart des cas, sur les marchés en développement, le choix des cas d'utilisation et la possibilité de modifier les services utilisés appartiendront au fournisseur. Elles ne seront limitées que par les termes du contrat d'achat, y compris les paramètres d'exploitation. Sur d'autres marchés, la société de projet peut posséder cette flexibilité sous réserve de l'obligation de fournir les services applicables décrits dans l'accord d'achat. Dans ces autres lieux, la société de projet vendra un ensemble limité de services au preneur. Tant qu'il n'y a pas de conflit avec les services commercialisés, la société de projet sera libre de monétiser tout autre service qu'elle jugera utile. Dans chaque cas, le contrat d'enlèvement doit être négocié pour comprendre la technologie particulière, les règles du marché et les cas d'utilisation proposés, de sorte qu'il y ait suffisamment de flexibilité pour modifier l'utilisation du système de stockage d'énergie à l'avenir, en fonction de l'évolution des règles du marché et des conditions du réseau.

Changement de législation

Dans tout accord d'exploitation à long terme, le risque de changement de législation doit être réparti entre l'exploitant et la société de projet. Cette répartition est très négociée et les

risques sont généralement supportés par la partie la mieux à même de les assumer. Dans le cas d'une modification de la législation qui affecte les revenus perçus par la société de projet ou les dépenses encourues par celle-ci, le risque sera probablement attribué au fournisseur d'électricité, car la société de projet n'aura qu'une capacité limitée (ou inexistante) de percevoir les revenus perdus ou de récupérer les coûts accrus dans le cadre d'un autre accord générateur de revenus.

L'importance des dispositions relatives au changement de législation est amplifiée dans le cas du stockage de l'énergie, où les marchés, les lois et les régimes réglementaires se développent et sont plus susceptibles de changer pendant la durée du contrat. Une prise en compte inadéquate d'une modification future de la législation pourrait rendre un projet non rentable et le faire échouer.

Paramètres de fonctionnement

Chaque technologie et chaque fabricant ayant ses propres spécifications techniques et exigences en matière de garantie, il est essentiel de négocier les paramètres d'exploitation dans le contrat d'achat d'énergie. Les paramètres d'exploitation sont la liste des conditions que le preneur doit remplir pour distribuer le système de stockage d'énergie. Ces paramètres d'exploitation peuvent inclure le nombre de cycles autorisés par jour ou par an, la capacité de charge minimale et maximale, les périodes de repos requises ou les températures auxquelles le système de stockage d'énergie peut être exploité. Toutefois, chacun de ces paramètres d'exploitation empêche le preneur d'accéder pleinement aux avantages et à la gamme complète de services qui pourraient être disponibles. D'autre part, comme nous le verrons plus en détail ci-dessous, si le contrat de vente ne contient pas de paramètres d'exploitation acceptables, le preneur peut utiliser le système de stockage d'énergie d'une manière qui annule la garantie accordée à la société de projet par le fabricant de l'équipement d'origine (FEO) ou par un prestataire de services.

Propriété intellectuelle

Dans certains cas, le preneur voudra recevoir les droits de propriété intellectuelle pour exploiter le système après la résiliation de l'accord d'enlèvement. Dans ce cas, le preneur cherchera à acquérir les droits de

propriété intellectuelle pour utiliser le système de stockage d'énergie par l'intermédiaire de la société de projet ou directement auprès de l'équipementier. Cela peut aller jusqu'à l'obligation de fournir le code source pour l'exploitation du système à un tiers de confiance afin que le preneur puisse s'assurer qu'il sera en mesure d'exploiter le système de stockage d'énergie après la résiliation du contrat d'enlèvement, parce qu'il n'aurait autrement aucun lien contractuel avec l'équipementier. Étant donné que ces droits de propriété intellectuelle nécessitent l'accord de l'équipementier, les dispositions proposées dans le contrat d'enlèvement doivent être discutées avec l'équipementier prévu avant la signature du contrat d'enlèvement.

Exigences de fin de contrat

Souvent, un service public conclut un accord d'enlèvement avec une société de projet pour qu'un promoteur construise un projet de production ou de stockage d'énergie parce que le promoteur a l'expérience nécessaire pour le faire de manière rentable et parce que le service public veut avoir la flexibilité de détenir l'actif sous-jacent. Si l'accord d'enlèvement est résilié avant son expiration, le service public peut souhaiter acheter le projet à la société de projet ou acheter toutes les actions de la société de projet à ses actionnaires. Pour s'assurer que le service public a le droit d'acheter le projet après la résiliation de l'accord d'achat, la société de projet peut accorder une option d'achat de la centrale au preneur. Pour que le service public ait le droit d'acheter les actions de la société de projet après la résiliation de l'accord d'enlèvement, les actionnaires peuvent accorder un droit d'achat des actions de la société de projet au preneur.

Cette option d'achat peut être accordée au service public à des moments précis négociés pendant la durée du contrat ou seulement à la fin de la période. Dans certains cas, le développeur peut s'opposer à cette option d'achat par le service public parce qu'elle supprime la flexibilité qu'implique la propriété à long terme du projet de stockage d'énergie. Dans tous les cas, une option d'achat doit être soigneusement négociée afin de garantir que le prix payé sera suffisant pour que les prêteurs soient protégés contre un prix d'achat inférieur au principal du prêt, aux intérêts courus, aux frais de résiliation en vertu d'autres accords de projet et à tous les frais et

dépenses que les prêteurs pourraient encourir en rapport avec la résiliation et l'exercice de l'option d'achat.

Une deuxième option parfois ajoutée à un contrat d'achat de stockage d'énergie est la possibilité de déplacer le système de stockage d'énergie pendant ou à la fin de la durée du contrat. Cette option est beaucoup plus fréquente que pour d'autres actifs de production d'électricité en raison de la flexibilité et de la petite taille des batteries. Cette option peut ne pas poser de problème dans la mesure où tous les coûts de déplacement et de perte sont pris en charge par le fournisseur et où le contrat est un contrat à prix fixe, de sorte que le nouvel emplacement du projet et les cas d'utilisation sous-jacents restent inchangés. Si la société de projet doit supporter l'un de ces coûts énumérés précédemment ou si le retrait du système de stockage d'énergie peut entraîner une réduction de l'utilisation (et des revenus associés), il est probable que la société de projet s'opposera à un tel droit de relocalisation.

Ajout du stockage de l'énergie aux projets existants

Les droits prénégociés d'ajouter un système de stockage d'énergie au projet constituent un autre élément à prendre en compte dans les accords d'achat de production d'énergie. Dans de nombreux endroits, l'ajout d'un projet de stockage d'énergie à un projet de production d'énergie renouvelable ou thermique pourrait débloquer des revenus supplémentaires pour la société de projet tout en offrant des avantages supplémentaires au preneur (dans la mesure où le même preneur acceptera la composante de stockage d'énergie du projet). Le fournisseur a généralement négocié un accord d'enlèvement qui est spécifique à la technologie et qui empêcherait la société de projet d'ajouter ultérieurement un projet de stockage d'énergie pour éviter le risque que le projet de production d'énergie ne fonctionne pas comme prévu pendant la phase de passation de marché.

phase d'approvisionnement. Les développeurs prudents reconnaissent que même si le stockage n'est pas rentable pour un projet particulier au moment de l'exécution de l'accord d'enlèvement, la situation peut changer. Souvent, ils demanderont le droit d'ajouter du stockage, et le preneur recevra généralement une option pour conclure un accord d'enlèvement concernant ce stockage ajouté.

Contrats IAC

Le prochain contrat important nécessaire pour développer avec succès un projet de stockage d'énergie est un contrat d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction (IAC). En d'autres termes, la société de projet conclura un contrat unique avec le fabricant d'équipement d'origine (FEO) ou un entrepreneur IAC, qui comprendra collectivement tous les services d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction nécessaires à la construction, aux essais et à la mise en service d'un projet. Toutefois, ces différents volets peuvent être séparés au fur et à mesure que l'utilisation des technologies se généralise. L'équipementier fournira et installera le système de stockage d'énergie sur site, mais des entrepreneurs distincts fourniront les services d'ingénierie et de construction de l'ensemble de l'installation. Quelle que soit la structure du contrat IAC, il est essentiel que la société de projet s'efforce de faire en sorte que les différents contrats de construction fonctionnent ensemble afin qu'il n'y ait pas de lacunes dans la fourniture et la construction du projet et qu'il n'y ait pas de conflits entre les termes qui pourraient conduire à des litiges.

En règle générale, un contrat IAC pour un SSE sera relativement similaire à un contrat IAC dans le domaine des énergies renouvelables ou d'autres sources d'énergie. Il comprendra des termes, des conditions et des points problématiques similaires. Cependant, il est important de se rappeler certaines différences entre les contrats de construction pour les systèmes de stockage d'énergie et les projets de production d'énergie.

Tests

La différence la plus importante concerne les essais requis pour parvenir à l'exploitation commerciale. Il est important de s'assurer que les essais requis par le contrat IAC répondent aux exigences d'essais d'exploitation commerciale prévues par l'accord d'enlèvement et, le cas échéant, de comprendre qui, de l'entrepreneur de construction ou de l'équipementier, sera responsable des différents aspects des essais. Les procédures d'essai prévues dans les contrats de construction doivent s'aligner sur celles de l'accord d'enlèvement.

Garanties de performance

Les exigences en matière d'essais doivent être créées de manière à s'aligner sur les garanties de performance prévues dans le contrat d'achat, ainsi que sur les essais de tout autre paramètre de stockage d'énergie requis par les cas d'utilisation ou le modèle commercial du projet. Il est important de veiller à l'alignement entre l'accord d'achat et le contrat IAC, notamment en ce qui concerne les limitations de responsabilité qui peuvent être plus élevées dans l'accord d'achat que dans le contrat IAC, ce qui laisse certains risques au développeur. Chaque garantie de performance sera spécifique à la technologie et au projet.

Propriété intellectuelle

Dans le cas d'un système de stockage d'énergie, les composants électroniques qui le font fonctionner peuvent être tout aussi essentiels que les composants physiques qui stockent les électrons. Ainsi, dans un contrat IAC de stockage d'énergie conclu avec un équipementier, il sera essentiel de veiller à ce que la société de projet reçoive une licence libre de redevances, perpétuelle et irrévocable pour l'utilisation des composants physiques et électroniques du système de stockage d'énergie. Le contrat doit également prévoir les droits que la société de projet recevra concernant toute mise à jour des composants électroniques.

Soutien au crédit

En outre, il est essentiel de s'assurer d'un soutien adéquat en matière de crédit de la part des contractants IAC. Lorsque la technologie ou un équipementier est moins expérimenté ou moins capitalisé, il doit être en mesure de satisfaire à toute exigence de garantie dans les contrats IAC pour la durée de la période de garantie dans le contrat IAC. Le soutien au crédit peut prendre la forme d'une garantie d'une entité de qualité, d'une lettre de crédit d'une banque solvable pouvant être tirée dans une juridiction accessible, ou d'un produit d'assurance disponible pour le recouvrement dans la mesure de toute réclamation de garantie.

Contrats de service

Types de contrats

Après la date d'exploitation commerciale, le projet nécessitera la conclusion de nombreux accords de service avec des fournisseurs de services réputés. Ces accords sont spécifiques au projet et peuvent suivre plusieurs approches différentes, mais les grandes catégories suivantes peuvent être nécessaires.

Accord de service et de garantie à long terme

Pour de nombreux projets de stockage d'énergie, la société de projet conclura un accord de service à long terme ou un accord de service et de garantie à long terme (ASLT) avec l'équipementier afin de garantir que le projet de stockage d'énergie continuera à fonctionner pendant la durée de vie prévue du ASLT (qui correspondra idéalement à la durée de l'accord d'enlèvement). Bien que les contrats IAC contiennent des garanties, des garanties de performance et des exigences en matière d'essais, ceux-ci sont généralement limités à une brève période après l'exploitation commerciale du projet et ne garantissent pas nécessairement que le projet reste performant pendant toute sa durée de vie. Le ASLT peut également inclure une garantie de performance de la part de l'équipementier. Dans le cas de certaines technologies de batteries, la garantie de performance peut exiger que l'équipementier remplace les batteries qui ne répondent pas aux paramètres de fonctionnement décrits dans la garantie. Ces garanties des fournisseurs de services devraient idéalement correspondre à celles fournies par la société de projet dans le cadre de l'accord d'achat.

Contrat E&M

Dans la mesure où l'ASLT ne couvre pas entièrement la maintenance du projet, par exemple si l'ASLT ne prévoit que la maintenance du système de stockage d'énergie et non celle de l'ensemble de la centrale, le développeur devra conclure un accord d'exploitation et de maintenance (le contrat d'exploitation et de maintenance). Le contrat d'exploitation et de maintenance doit couvrir les lacunes en matière d'exploitation et de maintenance prévues par l'accord de services transitoires. Il doit également permettre de combler les

lacunes dans les garanties de performance à long terme de l'accord d'enlèvement. Par exemple, un contractant E&M devra maintenir suffisamment l'équilibre de la centrale pour permettre au système de stockage d'énergie de fonctionner et de respecter les garanties de performance que le fournisseur de services ASLT s'est par ailleurs engagé à respecter. À d'autres égards, le contrat d'exploitation et de maintenance d'un système de stockage d'énergie est probablement similaire à tout autre contrat d'exploitation et de maintenance d'un système de production d'énergie renouvelable ou autre.

Accord sur la gestion de l'énergie

Un accord de gestion de l'énergie peut être nécessaire pour garantir que les droits de répartition restent la propriété de la société de projet. L'accord de gestion de l'énergie peut être conclu avec un prestataire de services qui a développé des algorithmes spécifiques de répartition et de facturation afin de maximiser les bénéfices du projet. Lors de l'examen et de la négociation d'un accord de gestion de l'énergie, il est essentiel de comprendre ce que le prestataire de services promet de fournir dans l'accord de gestion de l'énergie, les pénalités en cas de défaillance du prestataire de services et les limitations de responsabilité qui pourraient empêcher le propriétaire du projet d'obtenir des dommages-intérêts pour la perte du prestataire de services par rapport à ses promesses.

Contrat de services de gestion

Un accord de services de gestion peut également être nécessaire pour exploiter et financer le projet. L'accord de services de gestion couvre généralement les services administratifs et autres services mineurs nécessaires à la suite d'une opération commerciale et qui ne sont pas inclus dans d'autres accords de services. Cet accord n'est généralement pas très négocié et ne constitue pas un contrat de grande valeur. Il peut parfois être conclu entre la société de projet et le promoteur ou une société affiliée au promoteur dans la mesure où le promoteur continuera à gérer le projet après l'exploitation commerciale. Il n'y a pas de raison particulière pour qu'un accord de services de gestion pour un projet de stockage d'énergie soit différent de celui pour les projets de production d'énergie. Néanmoins, il est nécessaire, pour chaque projet, de veiller à ce que l'accord de services de gestion comble les lacunes qui subsistent

après l'exécution des autres accords de services.

Dispositions importantes

Dans les contrats de service requis pour un système de stockage d'énergie, de nombreuses dispositions essentielles peuvent être distinctes de celles nécessaires pour les projets de production d'électricité.

Étendue des services

Le plus important dans les contrats de service est de comprendre le champ d'application, d'identifier les lacunes entre les différents contrats de service et de s'assurer que le bon fournisseur de services comblera ces lacunes. Par exemple, certains composants peuvent être partagés entre le système de stockage d'énergie et le reste de l'installation ou même des détails fournis par l'équipementier qui ne sont pas des composants de stockage d'énergie (par exemple, les conteneurs de batterie) qui pourraient être exclus du ASLT et devraient être ajoutés au contrat d'exploitation et de maintenance pour garantir une maintenance appropriée.

Garanties de performance

Il en va de même pour les accords de service, qui doivent garantir que le fournisseur de services ASLT ou E&M assumera une partie du risque lié au non-respect des garanties de performance de l'accord d'enlèvement. L'alignement des dispositions relatives aux essais, des seuils de garantie de performance pour les dommages-intérêts liquidés et les défaillances, et des limitations de responsabilité protégera au mieux le projet contre les dommages-intérêts liquidés ou le risque d'une défaillance. Toutefois, compte tenu de la valeur monétaire typique des ASLT et des contrats d'exploitation et de gestion, il y a souvent un décalage entre les limites générales de responsabilité ou une limite de responsabilité distincte pour le paiement des dommages liés aux garanties de performance et les règles de responsabilité dans le cadre d'un accord d'enlèvement de gaz. Cela pourrait conduire à un scénario où, en cas de mauvaise performance, la société de projet est tenue de financer l'écart sous la forme de dommages-intérêts liquidés au profit du preneur.

Exclusions de la garantie

Les exclusions de la garantie constituent un autre élément important à prendre en considération. Certaines de ces exclusions, telles que le vandalisme, la force majeure et l'entretien ou l'utilisation incorrects du système de stockage d'énergie par la société de projet, sont typiques et attribuent équitablement la responsabilité à la société de projet. Toutefois, un risque plus important se pose en ce qui concerne les droits de répartition et les paramètres d'exploitation associés au système de stockage d'énergie. En règle générale, ces paramètres d'exploitation peuvent être fortement négociés avec le fournisseur afin que celui-ci puisse utiliser le système de stockage d'énergie au maximum de son potentiel. Toutefois, si ces paramètres ne correspondent pas aux utilisations autorisées dans le cadre du ASLT, la garantie peut être annulée, ou l'engagement de respecter les garanties de performance peut être annulé. Un exemple typique de ce problème se poserait si le contrat de location et d'entretien prévoyait, par exemple, 365 cycles annuels de charge et de décharge. Pourtant, l'accord ne garantit que 200 cycles. Le risque de ce décalage serait probablement supporté par la société de projet et démontre l'importance de comprendre les limites d'une technologie lors de la conclusion d'un accord d'enlèvement avant la conclusion d'un ASLT.

Soutien au crédit

Comme pour les entrepreneurs IAC, il est encore plus important de comprendre la situation de crédit des fournisseurs de services d'exploitation et de gestion et des fournisseurs de services ASLT. Étant donné la nature à long terme de ces contrats, il est plus probable que le prestataire de services subisse un événement qui affecte sa solvabilité et la capacité de la société de projet à demander des dommages-intérêts en cas de violation de ces contrats. La société de projet doit donc chercher à obtenir une garantie parentale de bonne qualité, une lettre de crédit d'une banque accessible et solvable, ou une police d'assurance pour s'assurer que les obligations de garantie et de maintenance à long terme seront respectées (ou que des dommages-intérêts seront disponibles pour indemniser la société de projet en cas de non-respect de ces obligations).

Accords de financement

Comme indiqué précédemment, le manuel *Comprendre le financement d'un projet* de production d'énergie traite en détail de la portée et des exigences du financement d'un projet de production d'énergie. En règle générale, les conditions et les accords signés pour le financement d'un projet de production d'électricité sont identiques à ceux requis pour le financement d'un projet de stockage d'énergie, à l'exception des différences spécifiques à la technologie. Les prêteurs du projet devront comprendre suffisamment la technologie et proposeront ensuite des conditions, des précédents, des déclarations et des garanties, ainsi que des engagements analogues à ceux que l'on trouve dans les documents de financement pour d'autres types de financement de projets de production d'énergie. Les prêteurs du projet devront également comprendre les aspects économiques du projet et avoir suffisamment confiance dans ces aspects à court et à long terme pour s'engager à financer le projet.

Durabilité

L'objectif de développement durable des Nations unies relatif à l'énergie (ODD 7) vise à assurer "l'accès de tous à une énergie fiable, durable et moderne d'ici à 2030". Selon le rapport 2022 sur le suivi des progrès accomplis en matière d'énergie dans le cadre de l'ODD 7, 733 millions de personnes n'ont toujours pas accès à l'électricité et la pandémie de COVID-19 a eu un impact sur les progrès accomplis en matière d'accès universel à l'électricité. Le rapport reconnaît que les BESS font partie des technologies clés qui contribuent à combler le fossé entre les objectifs de l'ODD 7 et l'accès universel à l'électricité.

Introduction

Les objectifs de développement durable (ODD) bénéficient d'un large soutien politique dans la plupart des pays, qui les considèrent comme bénéfiques pour l'intérêt général. Les pays sont intéressés par la réalisation des ODD parce que les moteurs de la politique nationale sont orientés vers ces objectifs. En outre, les pays sont affiliés à des organisations mondiales et à diverses conférences qui appellent à des efforts conjoints pour rendre le monde meilleur pour les habitants d'aujourd'hui et les générations futures. Par exemple, en vertu des principes de l'Équateur, diverses institutions financières veillent à ce que les promoteurs de centrales électriques évaluent les incidences négatives potentielles sur les droits de l'homme et les risques liés au changement climatique dans le cadre de l'évaluation des incidences environnementales et sociales (EIES) des projets qu'ils financent. L'évaluation des progrès nationaux vers les objectifs de développement durable communément approuvés permet également d'allouer plus efficacement les ressources aux thèmes et aux secteurs qui en ont le plus besoin.

Traditionnellement, l'élaboration réussie d'un projet se concentre principalement sur les résultats techniques et financiers. Récemment, le développement de projets a exigé de plus en plus de résultats en matière d'environnement, de société et de durabilité, conformément aux ODD pertinents. La durabilité est une considération transversale qui doit être intégrée dans les choix concernant la sélection des technologies et des modèles d'entreprise, les politiques et les réglementations, ainsi que la

planification, la passation des marchés et l'attribution des contrats. Comme ailleurs dans ce manuel, nous supposons une compréhension de base des considérations des ODD qui doivent être prises en compte dans le système électrique ; par conséquent, ce chapitre aborde certaines considérations spécifiques pour la mise en œuvre d'un SSE durable.

Considérations environnementales

Extraction durable des ressources

L'extraction des ressources est une autre considération environnementale importante (liée à d'autres ODD). Le monde étant de plus en plus conscient des pratiques employées dans l'extraction des minéraux, il devient essentiel pour les développeurs et les fournisseurs de veiller à ce que les matériaux utilisés dans le développement de l'ESS ne soient pas obtenus d'une manière qui porte atteinte à l'environnement. Il est également essentiel de veiller à ce que le travail forcé et d'autres pratiques d'exploitation ne soient pas employés lors de l'extraction et de l'enrichissement des minéraux utilisés pour fabriquer les composants du SSE. Pour confirmer la conformité, les développeurs et autres participants au système électrique doivent s'assurer que des politiques, des protocoles et des procédures d'audit adéquats sont en place à chaque niveau de la chaîne de valeur des minéraux. La société de projet et le fournisseur doivent s'assurer que les équipements achetés pour le SSE sont certifiés écologiques et que les biens produits par le travail forcé sont interdits.

Dans les pays africains disposant de réserves prouvées de minéraux pour la fabrication de batteries, la création d'un marché SSE offre la possibilité de créer de la valeur dans le pays avec d'autres segments de la chaîne de valeur du stockage par batterie. Si ces segments sont développés de manière durable, ils peuvent contribuer à la croissance verte organique du pays, avec un secteur à croissance rapide qui pourrait stimuler la reprise économique post-pandémique.

Financement des technologies propres

Le fait qu'un système de stockage de l'énergie soit considéré comme une technologie propre peut déterminer s'il peut bénéficier d'un financement à des conditions préférentielles, réduisant ainsi ses

coûts d'investissement. L'exigence de technologies plus propres peut en fin de compte déterminer si un SSE franchit les obstacles de la bancabilité et peut être financé.

Dans le cas de l'utilisation des SSE pour l'intégration des énergies renouvelables, l'avantage pour le climat est évident, d'autant plus si cette capacité de production d'énergie renouvelable remplace la production d'énergie thermique.

L'utilisation des systèmes électriques spéciaux pour améliorer la fiabilité d'un système électrique utilisant principalement des centrales thermiques est une question plus complexe. Toutefois, la flexibilité qu'offre le SSE peut contribuer à un bénéfice net sur les émissions de carbone pour le même volume d'électricité produit. Les centrales thermiques pourraient fonctionner à leur régime optimal et réduire les émissions de gaz à effet de serre afin de décarboniser le secteur de l'électricité. Bien que les sources de financement concessionnel soient moins nombreuses à envisager de financer ce type de SSE, le marché au sens large peut toujours considérer ces projets pour leur potentiel à long terme à débloquent les avantages associés à la transition vers l'énergie propre.

Protection de l'environnement local

Les SSE doivent être construits en tenant compte des politiques locales visant à protéger l'environnement contre les effets néfastes de la construction et de l'exploitation. Même si aucune réglementation locale ou nationale ne protège explicitement l'environnement contre les effets néfastes de l'ESS, les projets financés doivent généralement adopter les meilleures pratiques internationales en matière d'évaluation de la santé et de la sécurité environnementales et d'atténuation des impacts. Les lignes directrices de la Société financière internationale en matière d'environnement, de santé et de sécurité ont été mentionnées comme un guide de référence pour les institutions de financement du développement et d'autres institutions financières, y compris les institutions financières fondées sur les principes de l'Équateur (IFPE).

Considérations relatives au développement économique

Compétences locales et création d'emplois

Le déploiement d'un SSE sur un marché de l'électricité permet de créer de nouveaux emplois dans la chaîne de valeur de l'énergie dans le pays. Une technologie ayant un fort potentiel de création d'emplois directs et indirects correspondra probablement aux aspirations de la plupart des pays en développement, ce qui facilitera l'adhésion des décideurs. Le déploiement des SSE permettra la création d'emplois pendant les phases de développement, de construction et d'exploitation du projet. Dans la mesure où des minéraux d'origine locale ou valorisés sont intégrés dans la fabrication des SSE, il est possible d'intégrer davantage de main-d'œuvre locale dans la chaîne de valeur.

Participation de l'industrie locale

Les technologies ayant un fort potentiel de développement ou de participation de l'industrie locale seront également facilement acceptées et s'aligneront sur les politiques nationales des pays en développement. L'implication des industries locales garantit que l'expertise liée à la technologie de stockage de l'énergie est conservée dans le pays. Toute amélioration ou tout développement futur sera probablement entrepris localement, ce qui stimulera la main-d'œuvre locale. Cette initiative présente un fort potentiel pour les futures industries afin (i) de se développer localement, (ii) de faciliter l'industrialisation et (iii) de stimuler l'écosystème énergétique dans les pays en développement.

Minéraux d'origine locale

Dans le cadre du déploiement de SSE, il est important de garantir un approvisionnement stable et prévisible en matériaux tout au long de la chaîne de valeur. Dans le cadre de la planification, il est important de

prendre en compte tous les matériaux nécessaires et d'identifier les sources d'approvisionnement. Les besoins en matériaux supplémentaires peuvent être garantis par des accords à long terme.

Les technologies qui utilisent des matériaux locaux doivent être envisagées et promues pour réduire les coûts des SSÉ en fonction des exigences propres à chaque pays. Par conséquent, les fournisseurs et les développeurs SSE peuvent être amenés à envisager des investissements dans la recherche et le développement, parallèlement à la commercialisation et au développement de technologies plus établies. Ceci est particulièrement important lorsqu'un pays est préoccupé par l'exposition aux chaînes d'approvisionnement mondiales et aux fluctuations des devises étrangères. Les gouvernements des pays d'accueil peuvent considérer les minéraux d'origine locale comme un moyen d'atténuer cette exposition. L'utilisation de matériaux d'origine locale réduit l'empreinte carbone associée au transport de ces matériaux depuis d'autres parties du monde, ce qui favorise le développement de l'économie locale.

Considérations relatives à la fin de vie

Pour évaluer la durabilité d'un SSE particulier, il est essentiel de prendre en compte toutes les ressources nécessaires. Il faut prendre en compte l'ensemble du cycle de vie du déploiement, y compris les phases d'installation, d'exploitation, de maintenance et de mise hors service. Un développeur doit prendre en compte les coûts totaux requis pour déclasser et éliminer tous les composants du SSE et remettre le site d'installation dans son état d'origine. Les considérations relatives à la fin de vie, telles que l'élimination, la réhabilitation du site et la réutilisation, doivent être intégrées dans les contrats et les modèles financiers afin de s'assurer qu'ils tiennent compte avec précision du coût total réel d'exploitation d'un SSE. Les alternatives dans la phase de démantèlement peuvent inclure :

- Réutilisation - implique la réutilisation du système dans le même but que sa conception initiale. Cela signifie que les composants du système seront utilisés comme prévu initialement pour se conformer aux réglementations qui régissent la gestion de la fin de vie du SSE ;
- Recyclage - Il s'agit d'une solution plus viable que l'élimination. Le recyclage implique la récupération d'éléments et de produits chimiques pour les utiliser dans des applications qui peuvent ou non affecter l'application initiale des SSE ; et
- Options d'élimination - Ces options sont essentielles car elles ne sont pas entièrement sous le contrôle de la société de projet. Lorsque des solutions adéquates d'élimination n'ont pas été développées, les décideurs politiques et les acheteurs peuvent être réticents à acquérir des technologies éprouvées. Pour libérer le potentiel du stockage de l'énergie, les développeurs et les équipementiers doivent mettre au point des options d'élimination sûres et rentables.

Considérations sur le genre et l'inclusion

L'un des objectifs des Nations unies en matière de développement durable est d'autonomiser et de promouvoir l'inclusion sociale, économique et politique de tous, indépendamment de l'âge, du sexe, du handicap, de la race, de l'appartenance ethnique, de l'origine, de la religion, de la situation économique ou d'un autre statut. En outre, plusieurs pays ont adopté des politiques d'autonomisation pour lutter contre l'inclusion et l'inégalité. Toutefois, les groupes spécifiquement ciblés pourraient bénéficier d'une plus grande attention pour parvenir à l'égalité, en partie en raison d'injustices passées ou de politiques exclusives. De nombreux pays ont ciblé ces groupes, en particulier dans le secteur technologique. Par conséquent, les parties prenantes doivent réfléchir à la manière de promouvoir l'inclusivité dans les différents aspects de la chaîne de valeur lorsqu'un marché SSE est développé ou que des SSE sont déployées.

Considérations relatives à la sécurité

La sécurité est primordiale pour toute nouvelle technologie de stockage de l'énergie en cours de développement. Chaque technologie de stockage d'énergie présente des risques de sécurité qui doivent être analysés et atténués. Par exemple, les batteries peuvent présenter des fuites et ont fait l'objet d'une presse négative concernant le risque d'incendie. Dans certains cas, la résistance aux nouvelles technologies peut conduire à une surestimation des problèmes de sécurité spécifiques. Quoi qu'il en soit, dans chaque cas, le système de stockage de l'énergie doit être soigneusement construit selon les normes industrielles, les normes de sécurité et les recommandations des équipementiers afin d'atténuer les risques liés à la sécurité des matériaux.

Étude de cas : SSE et développement durable

En juin 2021, les pays de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO), dans le but premier d'atteindre leurs ODD, ont décidé (a) d'unir leurs forces pour élargir l'accès au réseau électrique à plus d'un million de personnes, (b) d'améliorer la stabilité du système électrique pour 3,5 millions de personnes supplémentaires, et (c) d'accroître l'intégration des énergies renouvelables dans le Pool énergétique de l'Afrique de l'Ouest (WAPP). La technologie BESS est au cœur de cette initiative.

Soutenu par la Banque mondiale, le projet sous-régional prévoit (a) d'augmenter les connexions au réseau dans les zones fragiles du Sahel, (b) de renforcer les capacités de l'Autorité régionale de régulation de l'électricité de la CEDEAO (ERERA), et (c) de renforcer l'exploitation du réseau du WAPP grâce à une infrastructure de technologies de stockage de l'énergie par batterie.

Jusqu'à 325 MWh de BESS seront installés sur des sites sélectionnés au Mali, en Côte d'Ivoire et au Niger pour permettre l'installation de projets photovoltaïques d'une puissance maximale de 200 MW, qui pourraient produire de l'énergie excédentaire, laquelle pourrait être échangée dans le cadre du WAPP en raison

de la capacité de stockage.

Cette façon innovante d'accroître l'utilisation des énergies renouvelables dans les échanges transfrontaliers est très prometteuse et pourrait préfigurer le commerce de l'énergie en Afrique à une échelle encore plus grande dans des sous-régions comme l'Afrique australe, où le potentiel solaire est l'un des plus importants au monde et où l'infrastructure de transmission nécessaire est déjà en place.

Acronymes

A

AC - Alternating Current (courant alternatif)

B

BESS - Stockage d'énergie par batterie

BOOT - (CPET) construire, posséder, exploiter, transférer)

BMS - Système de gestion de la batterie

C

CAPEX - Dépenses en capital

CSP - Énergie solaire concentrée

D

DBOT - (CCET) conception, construction, exploitation et transfert)

DC - Direct Current (courant continu)

DFI - (IFD) Institution de financement du développement)

DSM - Gestion de la demande

DSO - Gestionnaire de réseau de distribution

E

ECA - ACE - Agences de crédit à l'exportation

EIA - Évaluation de l'impact sur l'environnement

EPC - Ingénierie, approvisionnement et construction ESS - Système de stockage d'énergie

ESG - Environnement, société et gouvernance

G

GES - Gaz à effet de serre

I

IESP - Independent Energy Storage Provider (fournisseur indépendant de stockage d'énergie) IPP - Independent Power Producer (producteur indépendant d'électricité)

IRP - Integrated Resource Plan (plan de ressources intégré)

J

JET - Transition énergétique juste (TEJ)

O

OEM - Fabricant d'équipement d'origine (FEO)

O&M - E&M (exploitation et maintenance)

OPEX - Dépenses d'exploitation

P

PHP - Centrale hydroélectrique pompée

PSP - Centrale de pompage-turbinage

PPA - Contrat d'achat d'électricité (CAE)

PPP - Partenariat public-privé)

PV - Photovoltaïque

R

RE - ER (énergie renouvelable)

RfI - Request for Information (demande d'information)

RfP - Request for Proposal (demande de proposition)

RMIPPPP ou RMIQuadP - Programme d'approvisionnement des producteurs d'électricité indépendants pour l'atténuation des risques

S

SCADA - Contrôle de surveillance et acquisition de données

SCF - Fonds stratégique pour le climat

SDG - ODD(Objectifs de développement durable)

SoC - State of Charge (état de charge)

SOS - Security of Supply (sécurité de l'approvisionnement)

SOE - State-Owned Enterprise (entreprise publique)

SSA - Afrique subsaharienne (ASS)

T

T&D - Transmission et distribution

TSO - Gestionnaire de réseau de transport

V

VRE (ERV) - Énergie renouvelable variable

Glossaire

A

Augmentation - terme technique utilisé pour ajouter une capacité supplémentaire à un SSE existant pendant sa durée de vie, au fur et à mesure qu'il perd de la capacité en raison d'une dégradation ou pour d'autres raisons, afin de maintenir la capacité à des niveaux nominaux.

Availability - (Disponibilité) le pourcentage de temps pendant lequel un SSE ou un autre actif de production d'électricité est capable de fonctionner et le pourcentage de la capacité de ce SSE ou de cet autre actif de production d'électricité qui est disponible, tel que cette mesure est calculée dans le cadre du contrat d'enlèvement, de l'AAE, du LTSA ou d'autres contrats.

Availability Payment - paiement basé sur la disponibilité d'une centrale électrique ou d'un autre actif de production d'électricité.

B

Backup Power (Alimentation de secours) - la capacité d'alimenter les opérations en cas de déconnexion du réseau.

Battery Energy Storage System or BESS - Système de stockage d'énergie par batterie ou BESS - système capable d'absorber, de stocker et de décharger de l'énergie provenant d'un réseau électrique ou d'une autre source et utilisant des batteries comme support de stockage.

Battery Management System or BMS - Système de gestion de la batterie ou BMS - système électronique qui gère la charge et la décharge d'une batterie ou d'un groupe de batteries. Les systèmes de gestion des batteries peuvent être reliés à un système SCADA.

C

Capacité - la quantité maximale d'énergie électrique que l'actif de production peut générer. Pour un système de stockage d'énergie, la

quantité d'énergie que le système peut stocker. La capacité est mesurée en watts.

D

Depth of Discharge or DoD - Profondeur de décharge ou DoD - profondeur de décharge d'une batterie au cours d'un cycle, exprimée en pourcentage de sa capacité.

Development Finance Institutions or DFI - Institutions de financement du développement (IFD) - institutions financières ayant pour mandat de financer des projets visant à obtenir des résultats en matière de développement. Les exemples incluent la Banque mondiale, la BAD, la DFC, la FMO, la DEG, la CDC, la DBSA et Proparco.

E

Energy Storage System or ESS - Système de stockage d'énergie ou SSE - système capable d'absorber, de stocker et de décharger de l'énergie provenant d'un réseau électrique ou d'autres sources. Les exemples incluent les systèmes de stockage d'énergie par batterie, les installations hydroélectriques par pompage et d'autres formes d'énergie cinétique pour stocker l'énergie.

Énergie - capacité d'un système à effectuer un travail. Pour les systèmes de stockage d'énergie, elle est généralement mesurée en Wh (wattheure).

Environmental and Social Impact Assessment or ESIA - Évaluation des incidences environnementales et sociales ou ESIA - processus d'évaluation des incidences environnementales et sociales d'un projet proposé, d'évaluation des alternatives et de conception de mesures appropriées d'atténuation, de gestion et de suivi.

Engineering, Procurement, and Construction (EPC) Contract - Contrat d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction (EPC) - type de contrat de construction définissant les conditions de la conception, de l'ingénierie, de l'approvisionnement en matériaux et équipements, de la construction et de la mise en service d'une installation telle qu'une installation de production

ou un système de stockage d'énergie.

Entrepreneur(s) EPC - entrepreneur(s) partie(s) à un contrat IAC et responsable(s) de l'ingénierie, de l'approvisionnement et de la construction des ouvrages dans le cadre d'un contrat IAC.

Equator Principles - Principes de l'Équateur - cadre de gestion des risques adopté par les institutions financières pour déterminer, évaluer et gérer les risques environnementaux et sociaux des projets. Il s'agit avant tout d'une norme minimale en matière de diligence raisonnable afin de favoriser une prise de décision responsable en matière de risques.

Equator Principles Financial Institutions - Institutions financières fondées sur les principes de l'Équateur - une institution financière qui exigera des emprunteurs qu'ils se conforment aux principes de l'Équateur.

Export Credit Agencies or ECA - Agences de crédit à l'exportation (ACE) : agences publiques qui accordent des prêts, des garanties et des assurances pour faciliter l'exportation de biens ou de services à partir de leur pays d'origine.

F

Force Majeure Event - Cas de force majeure - un événement indépendant de la volonté d'une partie à un contrat qui l'empêche d'exécuter une ou plusieurs de ses obligations en vertu de ce contrat. Les cas de force majeure sont généralement classés en cas de force majeure politique et en cas de force majeure non politique, qui entraînent des conséquences financières et contractuelles différentes pour les parties contractantes. Les cas de force majeure naturelle font partie de cette dernière catégorie.

Fréquence - le nombre de cycles d'un système à courant alternatif qui se produisent en une seconde, mesuré en Hertz (Hz).

G

Grid - Réseau - système de conducteurs électriques et d'installations associées, telles que des sous-stations, qui transmettent l'énergie

électrique dans toute une région.

I

Independent Power Producer or IPP - Producteur d'énergie indépendant ou IPP - société à but unique créée pour développer, financer, construire, posséder, exploiter et entretenir une centrale électrique ou un système de stockage d'énergie.

Independent Energy Storage Provider or IESP - Fournisseur indépendant de stockage d'énergie ou IESP - un IPP, sauf que les actifs de stockage d'énergie sont la seule source de revenus du projet, comme cela est défini plus en détail dans le chapitre Illustration des flux de valeur.

Interconnection - connexion entre un réseau de transport ou de distribution et une centrale électrique, un système de stockage d'énergie, une charge ou un autre réseau de transport ou de distribution.

Integrated Resource Plan - Plan de ressources intégré - plan de développement de l'infrastructure électrique basé sur l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité au moindre coût. Les plans de ressources intégrés prennent en compte plusieurs considérations, notamment la sécurité de l'approvisionnement, la capacité à réduire ou à déplacer la demande d'électricité et l'impact des ressources planifiées sur l'environnement.

Inverter - Onduleur - dispositif utilisé pour convertir l'électricité en courant continu en courant alternatif.

K

Kilowattheure (kWh) - mesure d'énergie égale à 1 000 watts d'électricité générés ou consommés en continu pendant une heure.

L

Load Centre - Centre de charge - réseau de transport étendu et distribué qui se réfère généralement à la zone du réseau où se trouve la majeure partie de la charge.

Long Term Service Agreement or LTSA - Accord de service à long terme - accord en vertu duquel le fournisseur d'équipement fournira certains services de maintenance sur une centrale électrique ou un système de stockage d'énergie à intervalles réguliers pendant la durée d'un CAE ou d'un contrat d'enlèvement et fournira certaines pièces de rechange nécessaires à l'exploitation et à la maintenance de la centrale électrique ou du système de stockage d'énergie.

M

Mégawatt (MW) : mesure de la puissance, soit 1 000 000 de watts.

Mégawattheure (MWh) : mesure de l'énergie égale à 1 000 000 de watts d'électricité générée ou consommée en continu pendant une heure.

Mini-réseau : réseau isolé déconnecté d'un système de transmission plus large.

O

Offtaker - Preneur d'ordre - la partie à un CAE dont l'obligation est d'acheter la capacité ou les services mis à disposition et l'électricité produite par la centrale électrique ou le système de stockage d'énergie, sous réserve des termes et conditions du CAE.

Operations and Maintenance Agreement or O&M Agreement - Accord d'exploitation et de maintenance ou accord d'exploitation et de maintenance : accord conclu entre une société de projet et un opérateur en vertu duquel l'opérateur exploite et entretient une centrale électrique ou un système de stockage d'énergie.

P

Paris Climate Accords or Paris Agreement - Accords de Paris sur le climat ou Accord de Paris - traité international juridiquement contraignant sur le changement climatique. Il a été adopté par 196 parties lors de la COP 21 à Paris le 12 décembre 2015 et est entré en vigueur le 4 novembre 2016.

Peak Shaving or Peak Reduction - Élimination des pics de consommation ou réduction des pics de consommation - réduction de la demande

maximale globale du système.

Power - Puissance - la quantité de capacité à effectuer un travail. La puissance est mesurée en watts.

Power Purchase Agreement or PPA - Contrat d'achat d'électricité ou CAE - contrat à moyen ou long terme qui régit la production, la vente et l'achat de capacité électrique, d'énergie ou d'autres services. Également appelé contrat d'enlèvement.

Public-Private Partnerships or PPP - Partenariats public-privé (PPP) - accords entre les secteurs public et privé en vertu desquels un service ou un élément d'infrastructure habituellement fourni par le secteur public est fourni par le secteur privé, avec un accord explicite sur la répartition des risques et des responsabilités qui y sont associés.

R

Ramp Rate - Taux de rampe - vitesse à laquelle une centrale électrique ou un système de stockage d'énergie peut augmenter ou diminuer sa production.

Regulation by contract - Régulation par contrat - La régulation par contrat est une forme de gestion des contrats privés avec les services publics qui ne fait pas appel à une agence de régulation distincte, où le propriétaire du secteur public de l'actif surveille les performances de l'opérateur (privé) et fixe le tarif et les accords de revenus pertinents par une méthodologie tarifaire décrite dans un contrat.

S

Special-Purpose Vehicle - Véhicule à usage spécial - une personne morale explicitement créée pour poursuivre un projet spécifique et à laquelle il est interdit d'entreprendre toute activité en dehors du projet en question. Souvent appelée société de projet dans cet ouvrage.

Stacking - agrégation de flux de valeur par la fourniture de services multiples.

State of Charge or SoC - État de charge ou SoC - désigne le niveau de

charge d'un système électrique autonome par rapport à l'énergie maximale qu'il peut contenir, en pourcentage.

Supervisory Control and Data Acquisition or SCADA - Contrôle de surveillance et acquisition de données ou SCADA - raccourci pour tous les systèmes de surveillance et de contrôle de l'infrastructure électrique.

T

T&D Deferral - Report T&D - possibilité pour les entreprises de services publics de reporter les investissements à grande échelle en matière de transmission et de distribution.

Transmission Development Plan - Plan de développement du réseau de transport : plan de développement de l'infrastructure du réseau élaboré par un gestionnaire ou un propriétaire de réseau de transport.

U

Use Case - Cas d'usage - une application technique pratique ou un service qu'un SSE peut fournir à un opérateur de réseau, à un propriétaire de centrale électrique ou à un utilisateur final.

V

Variable Renewable Energy or VRE - Énergie renouvelable variable (ERV) - sources d'énergie renouvelable qui ne peuvent être réparties en raison de leur nature intermittente.

Voltage Regulation - Régulation de la tension - capacité d'un système à réguler la tension pour la maintenir constante alors qu'elle pourrait autrement changer.

Financé par

**POWER
AFRICA**
A U.S. GOVERNMENT-LED PARTNERSHIP



Développé par



Partenaires institutionnels

