

Etude de cas :

Grid-service et autoconsommation

Introduction

La batterie d'une installation de production d'électricité peut être mise à la disposition du gestionnaire du réseau électrique pour maintenir l'équilibre sur le réseau. L'utilisation de la batterie est bien évidemment rémunérée par le gestionnaire du réseau. Une étude approfondie des services disponibles (FCR, aFRR), de la rémunération, et des contraintes techniques liées a été menée en amont, puis implémentée dans l'EMS par étapes :

- Interfaçage/communication avec l'agrégateur
- Création d'un calendrier de mise à disposition
- Préparation de la batterie pour le service aux réseaux
- Indice de performance et rapports d'opération

Réserve de contrôle primaire

: Frequency Containment Reserves (FCR/R1)

L'objectif de Frequency Containment Reserves (FCR ou réserves de stabilisation de la fréquence en français) est de fournir une première réponse immédiate aux problèmes de fréquence à travers l'Europe. Ce sont des réserves qui réagissent automatiquement pour compenser les déviations de fréquence dans le réseau.

Contraintes (en Belgique):

- Les réservations se font par bloc de quatre heures (00-04h, 04-08h, 08-12h, 12-16h, 16-20h, 20-24h).

- Pour ce service, la disponibilité de la batterie doit être signalée en amont, un délai de deux jours est nécessaire.
- Le résultat des enchères est connu un jour avant.
- La batterie doit être chargée à environ $\pm 5\%$ prés. 50% de sa capacité.

Rémunération

Le montant de la rémunération de la batterie est le résultat d'une enchère et il est connu un jour avant. Le montant est exprimé en fonction de la capacité, plus précisément en €/MW pour chaque bloc de 4h. Le *Tableau 1* donne une idée des ordres de grandeur de la rémunération. De notre côté, nous ne savons pas en avance si la batterie sera utilisée ou pas, elle doit juste être disponible. Si elle est sélectionnée, nous serons rémunérés par bloc de quatre heures, sinon, nous ne serons pas rémunérés. Après une période de mise en disponibilité de la batterie pour le grid service, nous pouvons constater si la batterie a été utilisée ou non en analysant les données de la batterie (bit d'activation, charge/décharge).

Bloc	00-04h	04-08h	08-12h	12-16h	16-20h	20-24h
Rémun.	91.16	145.72	186.88	135.24	214.88	236.52

Tableau 1 : la rémunération en €/MW par le grid service pour une batterie pour le 27 juillet 2022. Si la batterie est sélectionnée pendant un bloc horaire, peu importe la durée de l'utilisation, elle sera rémunérée en fonction de sa capacité. Les données sont issues du site : <https://www.regelleistung.net> 🌐

Source d'incertitude

Dans le cadre des prévisions de la rémunération pour R1, il y a deux sources d'incertitude :

- Le montant de la rémunération,
- Le nombre de blocs utilisés.

Réserve de contrôle secondaire : Automatic Frequency Restoration Reserve (aFRR/R2)

Automatic Frequency Restoration Reserve (aFRR ou restauration automatique de la fréquence en français) a pour objectif de compenser les déséquilibres journaliers, entre la production et la consommation, du réseau électrique.

Contraintes (en Belgique) :

- Comme pour le R1, les réservations se font par bloc de quatre heures (00-04h, 04-08, 08-12h, 12-16h, 16-20h, 20-24h).
- Ce service est activé automatiquement par Elia via l'envoi d'une consigne toutes les 4 secondes et que l'énergie demandée doit être activée en 7,5 minutes.
- Afin de pouvoir fournir une réserve secondaire, il faut être équipé de moyens permettant de communiquer avec le centre de dispatching d'Elia.

Rémunération

La rémunération est constituée de deux parties :

Une rémunération par **volume réservé**, peu importe si la batterie est utilisée ou non par le gestionnaire du réseau, exprimé en €/MW/h.

Une rémunération par **utilisation** qui se divise en :

- Upward : décharge
- Downward : charge

Les tarifs sont disponibles sur le site d'Elia: <https://www.elia.be/>

Source d'incertitude

Dans le cadre des prévisions de la rémunération pour R2, il y a quatre sources d'incertitude :

- Le montant de la rémunération :
 - o Pour la capacité,
 - o Pour l'énergie (up et down).
- La quantité d'énergie up et down,
- Le nombre de blocs utilisés.

Objectif de cette étude

Pour cette étude de cas, du point de vue d'EMS, peut se résumer aux éléments suivants :

- Le réseau électrique,
- Une source de production : un ensemble de panneaux solaires,
- Une batterie,
- Une « petite » consommation du site ; dite consommation de base,
- Un ensemble de camions électrifiés constituant une grande source de consommation.

Pour recharger un camion, nous avons besoin d'environ 6h.

Pour cette étude, nous supposons que la meilleure rentabilité est une utilisation mixte de la batterie, c'est-à-dire combinaison entre l'autoconsommation et l'utilisation de la batterie pour le service au réseau pendant un cycle d'utilisation complet (à priori 24h).

Pour le service au réseau, le SoC (State of Charge) de la batterie doit être à 50% +/-5%.

Pour recharger un camion, nous avons besoin d'environ 6h. de production



Dans une installation où la consommation présente un profil plutôt déterministe, la rentabilité de la batterie peut s'exprimer comme une fonction de la production solaire. C'est donc la production solaire qui nous permet de choisir le mode d'utilisation de la batterie (autoconsommation ou grid-service) le plus intéressant pour nous. Afin de faciliter la compréhension des concepts, nous allons analyser les deux cas limite de production, à savoir « bonne production » et « faible ou production nulle ». Dans la suite, nous faisons l'hypothèse que la bonne/faible production est périodique, c'est-à-dire qu'une bonne/faible production est précédée et suivie par des bonnes/faibles productions.

Bonne production

Définition : par une bonne production, nous entendons une production qui permet une recharge complète de la batterie pendant un cycle. Dit autrement, une production journalière de l'électricité d'origine solaire permettant au SoC batterie de passer de 0 à 100% de charge. Sur la *Figure 1*, nous avons une illustration d'une bonne production journalière. Analysons cette figure en allant de 8h à 8h Le but est de faire une analyse sur 24h. Commencer cette analyse à 8h du matin facilite la compréhension et permet un raisonnement plus accessible. « de 8h à 8h » veut dire du 8h matin du jour j au 8h du matin du jour j+1 avec un pas de 4h.

08h-12h :

Consommation : Les camions sont partis en livraison, donc pas de recharge camion, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : Nous avons une bonne production solaire permettant de couvrir les besoins du site et de recharger la batterie, Pas besoin du réseau ou très peu, de façon ponctuelle.

Batterie : en charge.

12h-16h : (identique au 8-12h)

Consommation : Les camions sont partis en livraison, donc pas de recharge camion, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : Nous avons une bonne production solaire permettant de couvrir les besoins du site et de recharger la batterie, Pas besoin du réseau ou très peu, de façon ponctuelle.

Batterie : en charge.

16h-20h :

Consommation : Les camions sont de retour et ils ont besoin de beaucoup d'électricité pour recharger leur batterie, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : La production solaire est en baisse car nous nous approchons de la fin de la journée, Besoin du réseau pour compléter la batterie.

Batterie : en décharge pour répondre aux besoins des camions avec la limite basse du SoC batterie fixée à 50%.

20h-24h :

Consommation : Les camions sont présents, mais nous arrêtons de les recharger, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : La production solaire ~nulle car c'est le coucher du Soleil, Besoin du réseau pour toute la consommation.

Batterie : avec un SoC de ~50%, elle est utilisée pour le service au réseau.

00h-04h : (identique au 20-24h)



Consommation : Les camions sont présents, mais nous ne les rechargeons pas, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : La production solaire ~nulle car c'est la nuit, Besoin du réseau pour toute la consommation.

Batterie : avec un SoC de ~50%, elle est utilisée pour le service au réseau.

04h-08h : (assez identique au 16-20h)

Consommation : Les camions sont présents et nous finalisons leur recharge, donc ils ont besoin de beaucoup d'électricité, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : La production solaire démarre tout doucement car nous nous approchons du début de la journée, Besoin du réseau pour compléter la batterie.

Batterie : en décharge pour répondre au besoin des camions avec l'objectif : SoC batterie 0%.

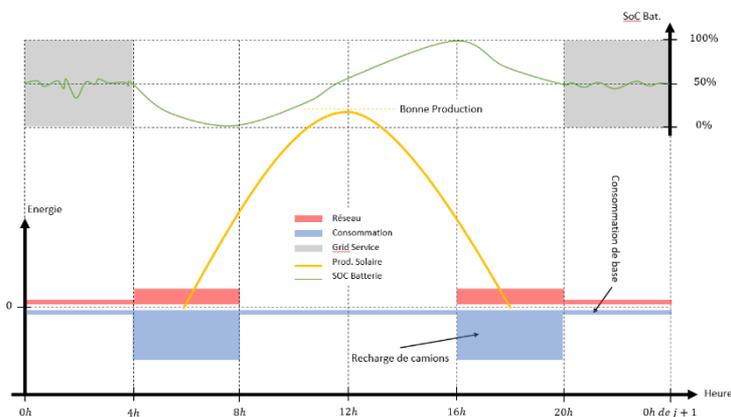


Figure 1 : illustration d'un cycle de bonne production, dit autrement, la production permet de recharger à 100% la batterie initialement vide (SoC 0% -> 100%). Dans la partie énergie : en rouge, nous illustrons l'électricité issue du réseau, en couleur bleue, nous avons la consommation totale et la courbe jaune représente la production de

l'électricité d'origine solaire. Dans la partie concernant la batterie (la partie délimitée par la vecteur SoC) les zones grise représentent la mise à disposition de la batterie pour le grid-service, les zones blanches représentent l'autoconsommation et la courbe verte est le SoC de la batterie.

Production faible ou ~nulle

Définition : par une faible production, nous entendons une production qui **ne** permet **pas** une recharge complète de la batterie. Autrement dit, une production journalière de l'électricité d'origine solaire insuffisante pour permettre au SoC batterie de passer de 0 à 100% de charge. Sur la Figure 2, nous avons une illustration d'une faible production journalière. Analysons cette figure en allant de 8h à 20h.

08h-12h :

Consommation : Les camions sont partis en livraison donc pas de recharge camion, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : Nous n'avons pas une bonne production solaire permettant de couvrir les besoins du site et de recharger la batterie, Besoin du réseau afin de compenser la faible production solaire.

Batterie : en charge ou utilisée pour le service au réseau.

12h-16h : (identique au 8-12h)

Consommation : Les camions sont partis en livraison donc pas de recharge camion, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : Nous n'avons pas une bonne production solaire permettant de couvrir les besoins du site et de recharger la batterie, Besoin du réseau afin de compenser la faible production solaire.

Batterie : en charge ou utilisée pour le service au réseau.

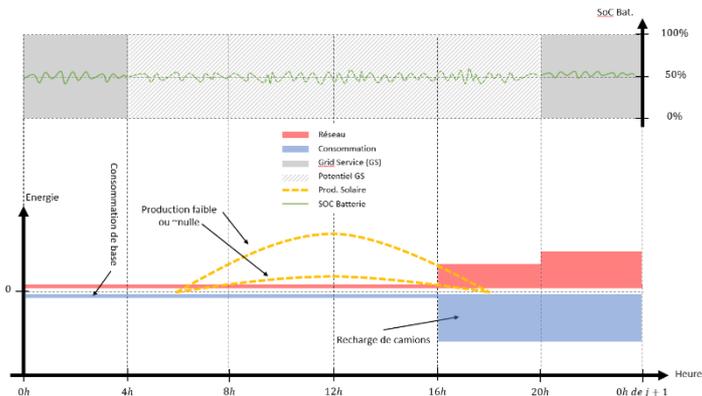


Figure 2 : Analyse d'un cycle de faible production voire nulle : la production ne permet pas de recharger à 100% une batterie initialement vide (SoC 0% -> 100%). Dans la partie énergie : en rouge, nous illustrons l'électricité issue du réseau, en couleur bleue, nous avons la consommation totale et les courbes jaunes en pointillées représentent la production de l'électricité d'origine solaire. Dans la partie concernant la batterie (la partie délimitée par la vecteur SoC) les zones grise représentent la mise à disposition de la batterie pour le grid-service, les zones grises hachurées sont des blocs avec un potentiel pour le grid-service et la courbe verte est le SoC de la batterie.

16h-20h :

Consommation : Les camions sont de retour et ils ont besoin de beaucoup d'électricité pour recharger leur batterie, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : La production solaire, déjà mauvaise, est en baisse car nous nous approchons de la fin de la journée, Besoin du réseau pour compléter la batterie.

Batterie : en décharge pour répondre aux besoins des camions avec la limite basse du SoC batterie fixée à 50% ou utilisée pour le service au réseau.

20h-00h :

Consommation : Les camions sont présents et nous continuons de les recharger, ils ont donc besoin de beaucoup d'électricité, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : La production solaire ~nulle car c'est le coucher de Soleil, Besoin du réseau pour toute la consommation.

Batterie : avec un SoC de ~50%, elle est utilisée pour le service au réseau.

00h-04h :

Consommation : Les camions sont présents, mais nous ne les rechargeons plus car les batteries des camions sont complètement rechargées, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : La production solaire ~nulle car c'est la nuit, Besoin du réseau pour toute la consommation.

Batterie : avec un SoC de ~50% utilisée pour le service au réseau.

04h-08h :

Consommation : Les camions sont présents, mais nous ne les rechargeons plus car les batteries des camions sont complètement rechargées, Il y a une petite consommation due au fonctionnement du site.

Production et réseau : La production solaire ~nulle, Besoin du réseau pour toute la consommation.

Batterie : avec un SoC de ~50%, utilisée pour le service au réseau.



Bonne et mauvaise journée

Les journées sont classées en deux catégories :

Les bonnes journées où la production solaire est suffisante pour recharger complètement la batterie initialement vide,

Les mauvaises journées où la production solaire n'est pas suffisante pour recharger la batterie initialement vide.

Bonne journée suivie de bonne journée

Dans ce cas, nous privilégions le cas de la *Figure 1*, c'est-à-dire : Utiliser la batterie pour le service au réseau entre 20h et 4h du matin du jour suivant, Recharger les camions en utilisant la batterie de 16 à 20h et de 4 à 8h du matin du jour suivant, Recharger la batterie entre 8h et 16h.

Bonne journée suivie de mauvaise journée

Dans ce cas, nous allons : Utiliser la batterie pour le service au réseau entre 20h et 8h du matin du jour suivant, Recharger les camions en utilisant la batterie de 16 à 20h et de 20 à 0h du matin du jour suivant en utilisant le réseau, De 8h à 16h, faire un calcul de rentabilité afin de déterminer s'il vaut mieux recharger la batterie ou vendre l'électricité produite par les panneaux solaires et faire du service au réseau avec la batterie.

Mauvaise journée suivie de mauvaise journée

Dans ce cas, nous allons : Utiliser la batterie pour le service au réseau entre 20h et 8h du matin du jour suivant, Recharger les camions en utilisant la batterie de 16 à 20h et de 20 à 0h du matin du jour suivant en utilisant le réseau, De 8h à 16h, faire un calcul de rentabilité afin de déterminer s'il vaut mieux recharger la batterie ou vendre l'électricité produite par les panneaux solaires et faire du service au réseau avec la batterie.

Mauvaise journée suivie de bonne journée

Dans ce cas, nous allons : Utiliser la batterie pour le service au réseau entre 20h et 4h du matin du jour suivant, Recharger les camions en utilisant la batterie de 16 à 20h et de 4 à 8h du matin du jour suivant, De 8h à 16h, faire un calcul de rentabilité afin de déterminer s'il vaut mieux recharger la batterie ou vendre l'électricité produite par les panneaux solaires et faire du service au réseau avec la batterie.



Choix de la technologie

Différents types de technologies de batteries peuvent être pris en compte pour les études de cas, où le type et les paramètres des batteries peuvent influencer la sélection des batteries pour les services de réseau en raison des performances techniques ou de l'aspect économique connexe :

- Capacité et puissance réservées aux services du Réseau
- Temps de réponse à l'activation et consigne des services Grid
- Efficacité aller-retour (roundtrip efficiency)
- Paramètres du point de connexion, qui doit pouvoir transférer l'énergie et la charge en même temps

Nous avons déjà étudié plusieurs cas, notamment les batteries qui sont installées sur le site de MiRIS (subventionné également par Région Wallonne) ou pour des projets en cours d'exécution par l'entreprise (Client non mentionné)

Sur le site MiRIS du quartier général de John Cockerill les batteries qui sont utilisées pour les services au réseau sont

- 0,35-1,2 MW/ 1,5 MWh type Li-Ion, utilisé pour les deux services R1 (FCR) et R2 (aFRR)
- Soit une combinaison des batteries Li-Ion et VRFB (Vanadium redox flow battery), cette dernière, d'une puissance et d'une capacité de 0,8 MW / 3 MWh, qui peut être proposée pour le R2 (aFRR). Cela est principalement dû à l'efficacité aller-retour inférieure de la batterie à flux redox, par rapport à la batterie Li-Ion

Ou sur un des projets en cours d'exécution par John Cockerill (Client non mentionné), on peut considérer la batterie :



• Batterie type Li-Ion avec une puissance de 0,8 MW et une capacité de 1,37 MWh qui peut être proposé pour les deux services au réseau R1 (FCR) et R2 (aFRR). Pour l'étude de cas, la décision de désigner la batterie pour les services de réseau ne fait pas partie de l'algorithme EMS (système de gestion de l'énergie), mais plutôt de la décision de l'opérateur sur la base des critères ci-dessus et de la demande du marché.

Remarque : L'expérience réelle du site MiRIS a montré l'utilisation favorable de la batterie Li-Ion pour les deux services de réseau R1 (FCR) et R2 (aFRR), tandis que la VRFB (Vanadium redox flow battery) n'est utilisé que pour R2 (aFRR).

Les raisons de cette décision de l'opérateur d'utiliser le VRFB (batterie à flux redox au vanadium) uniquement pour le service R2 (aFRR) sont qu'en raison du temps de démarrage plus long (en minutes) du VRFB, il est maintenu en fonctionnement continu pour être prêt pour le point de consigne des services de réseau. Mais pendant la période où la batterie fonctionne, lorsqu'il n'y a pas de consigne de puissance, il y a encore des pertes d'énergie dans la batterie, et en général, il y a une efficacité inférieure de la batterie également en raison d'une consommation plus élevée d'énergie auxiliaire alimentant la circulation VRFB pompes.

Conclusion

La batterie est toujours utilisée pour le service au réseau entre 20h et 4h du matin le jour suivant. La décision porte sur le bloc qui va de 4 à 8h, puis sur les deux blocs constituant les créneaux horaires allant de 8 à 16h.

Pour le bloc de 4 à 8h : La batterie sera utilisée pour le service au réseau si nous entamons une mauvaise journée. Dit autrement, nous anticipons le fait que la production solaire ne permettra pas de recharger la batterie,

La batterie sera utilisée pour recharger les camions si nous entamons une bonne journée. Dit autrement, nous anticipons une production solaire suffisante pour recharger complètement la batterie.

Pour les deux blocs de 8 à 16h : Il y a deux cas possibles ; soit utiliser la batterie pour le service au réseau ou (ii) recharger la batterie et l'utiliser entre 16h et 20h pour recharger les camions. Pour prendre une décision, il faut calculer le gain batterie et estimer la rémunération que nous obtiendrions grâce au service au réseau.

