



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences



Dimensionnement d'un système de stockage d'énergie par batterie pour un bâtiment commercial

Étude de l'impact des stratégies d'opération sur les performances et la dégradation du système de stockage d'énergie

► Projet de Master | Yoann Moullet | 19.08.2020

Sommaire

- ▶ Description de la situation de référence
- ▶ Modélisation du système de stockage électrique
- ▶ Analyse des performances énergétiques et de la dégradation du système
- ▶ Combinaison des stratégies d'opération
- ▶ Conclusion et perspectives

Situation de référence

Bâtiment considéré

Future bâtiment du Switzerland Innovation Park Biel/Bienne

- ▶ Bâtiment commercial de 15'500m²
 - Utilisation: Bureaux, laboratoires et ateliers
- ▶ Parking souterrain
 - 49 places, dont 3 (voir 6) équipées de stations de recharge pour véhicules électriques
- ▶ Immeuble labelisé «Minergie P»
- ▶ Centrale photovoltaïque installée sur le toit
 - 240 kWp
 - Production estimée: 244 MWh/an



Visualisation du future site du SIPBB (source: <https://www.sipbb.ch/fr> [1])

Estimation des grandeurs électriques

Consommation

- ▶ 5 profils de consommation
 - Mesures de bâtiments de référence et données standardisées
 - Calibrés selon le dimensionnement de l'introduction électrique du bâtiment

Production

- ▶ 2 profils de production
 - Mesures de centrales de référence et données standardisées
 - Calibrés selon la puissance de pointe de la centrale

Stations de recharge

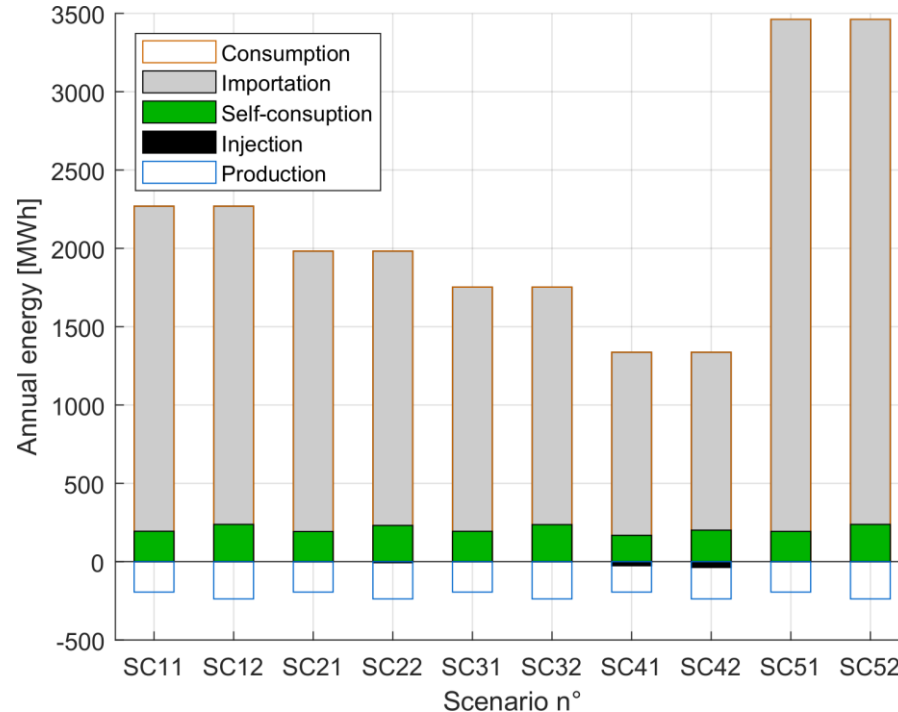
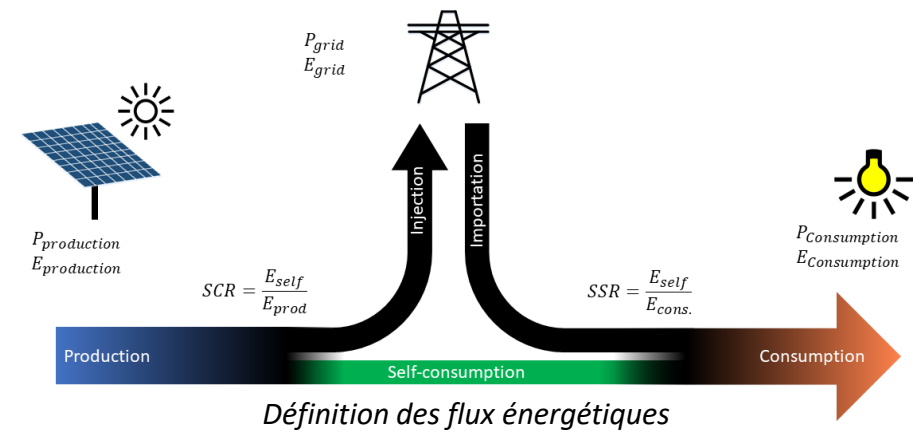
- ▶ 1 profil de consommation
 - Généré pseudo-aléatoirement selon des données statistiques.

➔ 10 scénarios d'analyses sont créés en combinant les profils

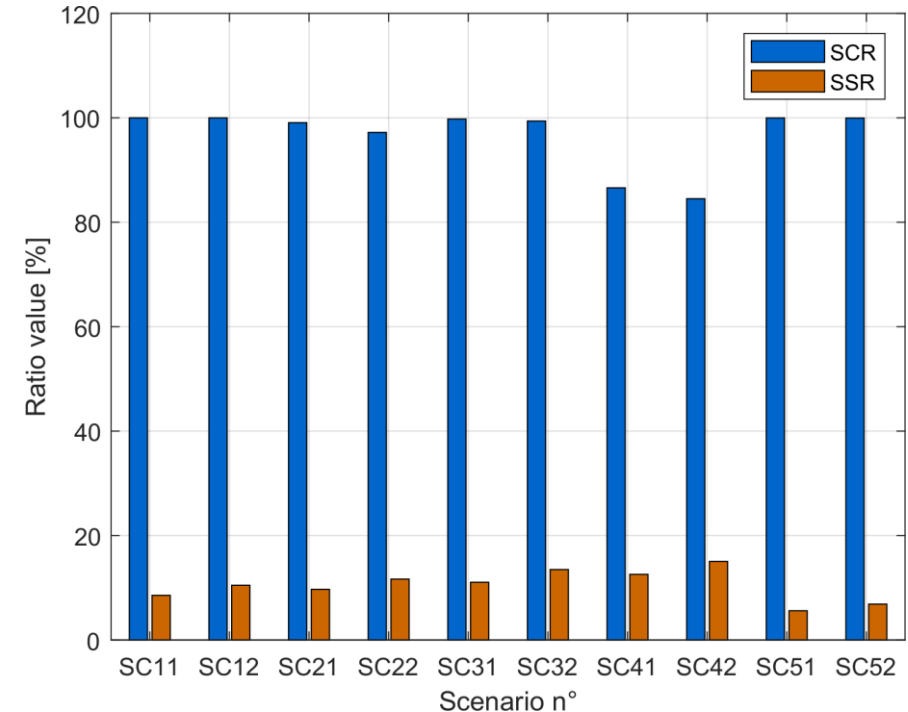
Analyse énergétique

Flux et performances énergétiques

Analyse réalisée sur la base des profils de puissances en l'absence de système de stockage électrique.



Principaux flux énergétiques annuels



Indices de performance énergétique

Modélisation du système de stockage électrique

Modélisation du système de stockage électrique

Services proposés par un système de stockage et évalués dans l'étude

- ▶ **Peak-shaving (*PS*)**
 - ▶ Réduction des pointes de puissances importées depuis le réseau de distribution
- ▶ **Optimisation de l'autoconsommation (*SCO*)**
 - ▶ Suppression de l'injection du surplus de production photovoltaïque
- ▶ **Fourniture de puissance de réglage primaire (*FCR*)**
 - ▶ Participation au maintien de la fréquence du réseau en équilibrant la balance consommation/production
- ▶ **Alimentation anti-interruption (*UPS*)**
 - ▶ Approvisionnement d'énergie lors de l'absence d'une connexion au réseau électrique
- ▶ **Correction du facteur de puissance (*PFC*)**
 - ▶ Compensation de l'énergie réactive générée

Modélisation du système de stockage électrique

Estimation des caractéristiques idéales du système de stockage

Service	Capacité de stockage	Puissance	Annuité	Revenu annuel	Remarques
PS	12 – 118 kWh	21 - 147 kW	820 – 6'800 CHF	1'870 – 21'000 CHF	-
SCO	0 – 1'500 kWh	0 – 149 kW	0 – 56'500 CHF	0 – 2'820 CHF	-
FCR	500 kWh	1'000 kW	35'600 CHF	45'000 CHF	Disponnibilité: $\alpha = 2/3$
UPS	30 kWh	60 kW	2'130 CHF	-	Revenus dépendants de la valeur assurée par le système
PFC	-	40 -112 kVA	-	0 – 3'300 CHF	Capacité de stockage inutile

Constat: la correction du facteur de puissance peut être combinée à tous les autres services.
De plus, ce mode de fonctionnement a aucune influence (dégradation, performances) sur le stockage

➔ Ce service n'est pas considéré pour la suite de l'étude

Modélisation du système de stockage électrique

Choix de la technologie

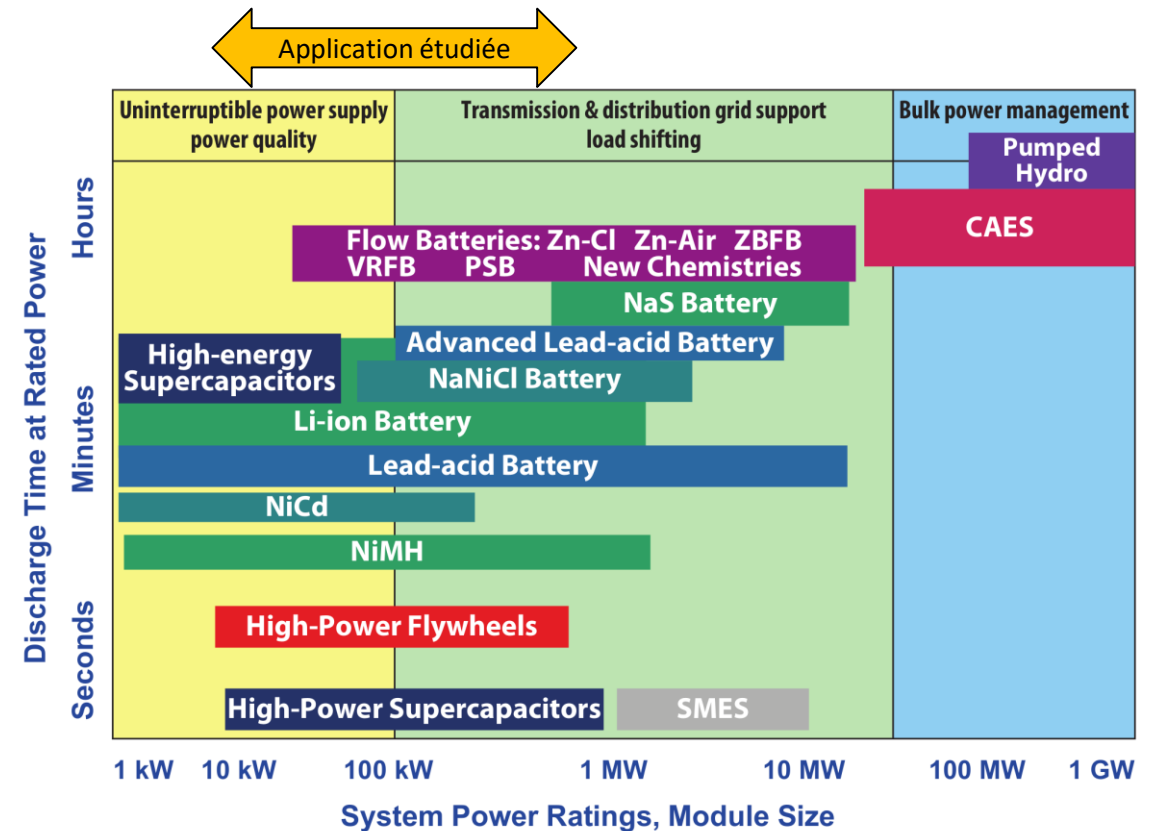
► Principaux facteurs de dimensionnement du système:

- Capacité de stockage (C_{ess})
- Puissance de (dé)charge (P_{ess})

► Paramètres liés par le taux de charge

$$C - rate = \frac{P_{ess}}{C_{ess}} \left[\frac{1}{h} \right]$$

➔ Choix: Li-NMC

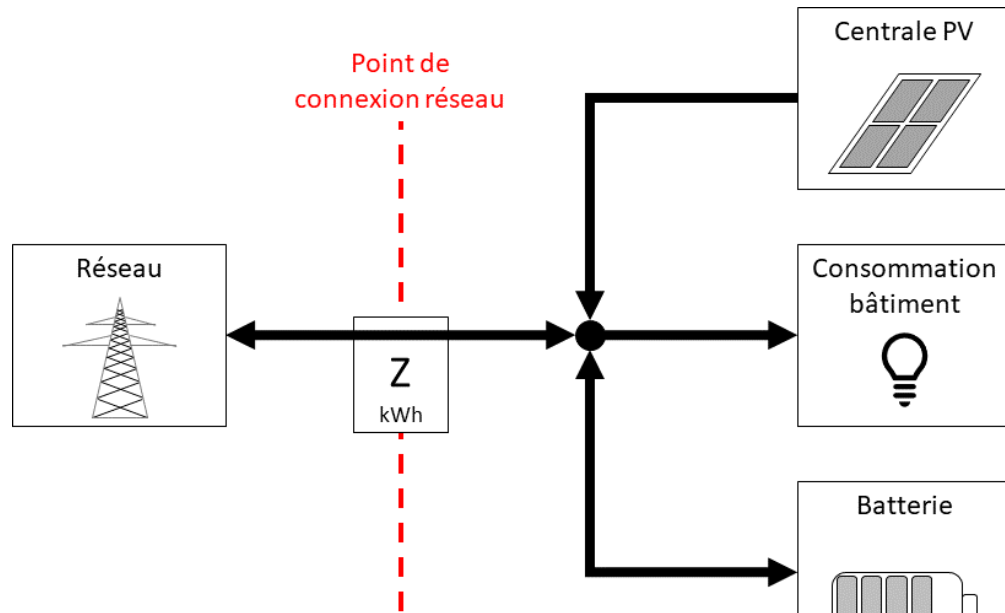


Classification des diverses technologies de stockage d'énergie selon leur puissance et leur temps de décharge

(source: International Renewable Energy Agency [2])

Modélisation du système de stockage électrique

Modélisation des performances énergétiques

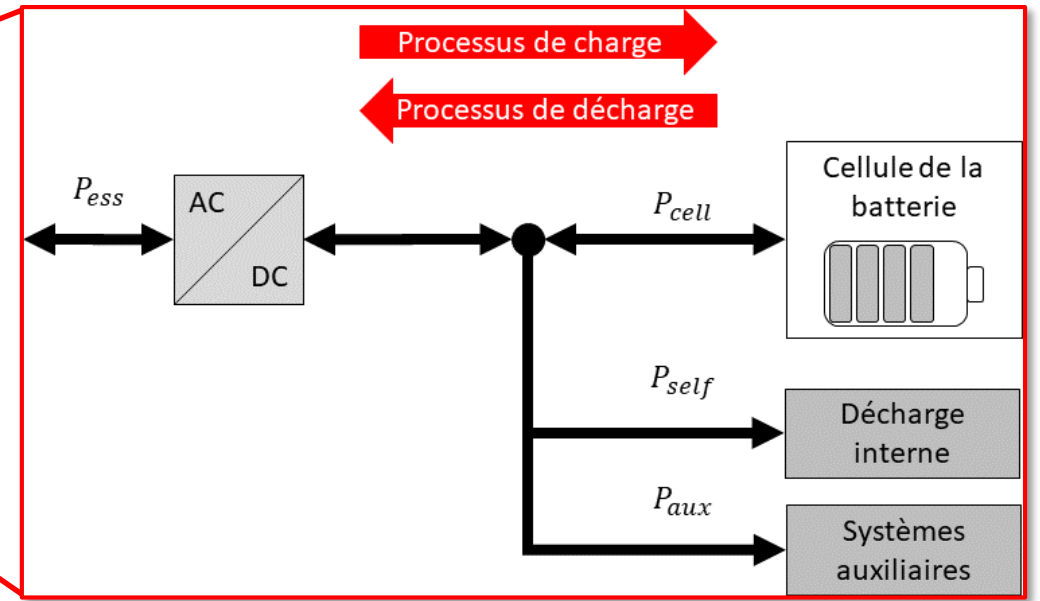


Intégration de la batterie au sein de la distribution électrique

$$\eta_{conv} = 94.87\% \rightarrow \eta_{storage} = 90\%$$

$$P_{self} = 41.7 \left[\frac{mW}{kWh} \right] \rightarrow -0.1 \left[\frac{\%}{jour} \right]$$

$$P_{aux} = 1 \left[\frac{W}{kWh} \right]$$

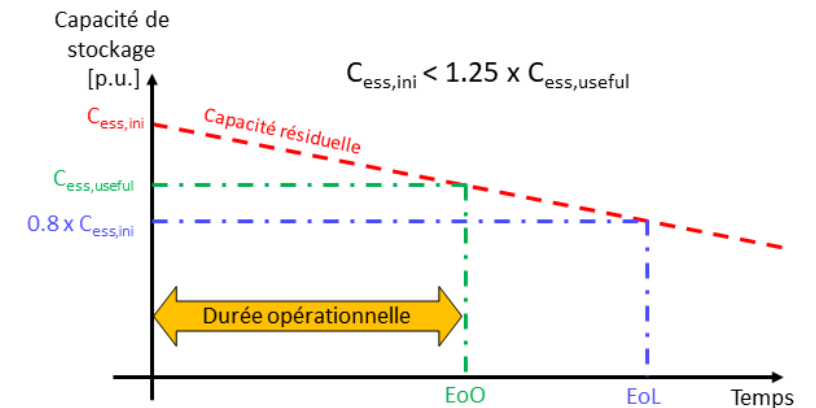
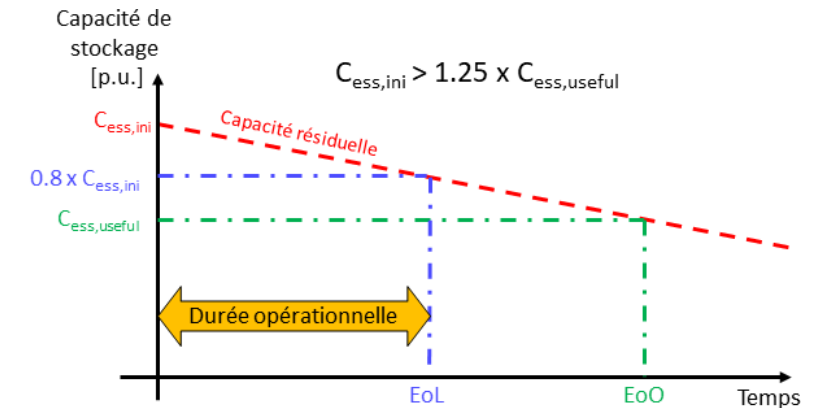


Modélisation interne de la batterie

Modélisation du système de stockage électrique

Modélisation de la dégradation

- ▶ La dégradation se traduit par une diminution de la capacité utilisable
 - ▶ Nécessité de surdimensionner la capacité pour augmenter la durée opérationnelle de la batterie.
- ▶ Limite de la durée opérationnelle: *EoL* ou *EoO*
 - ▶ $EoL = 80\% \cdot C_{ess,ini}$ (End-of-Life)
 - ▶ $EoO =$ instant où $C_{ess,residuelle}$ et $C_{ess,useful}$ sont égales
- ▶ Augmentation de l'investissement, mais durée d'amortissement (= durée opérationnelle) plus longue

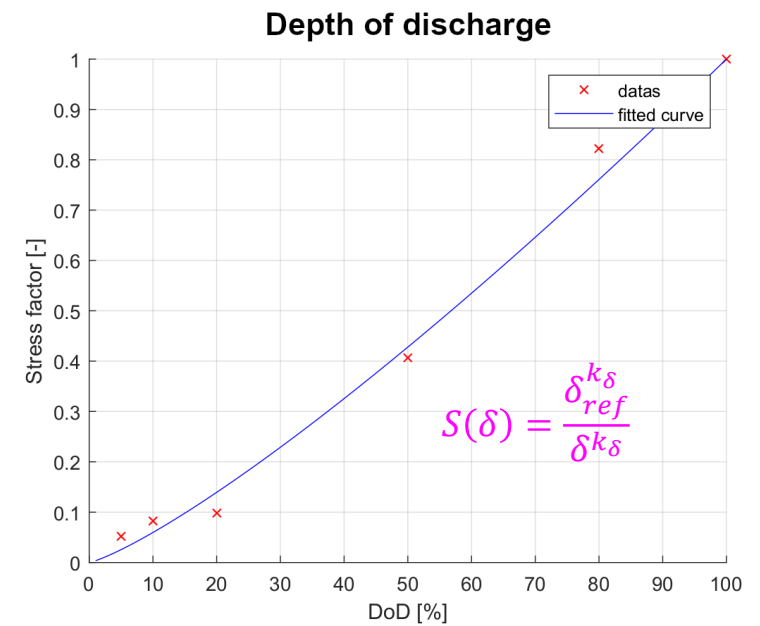
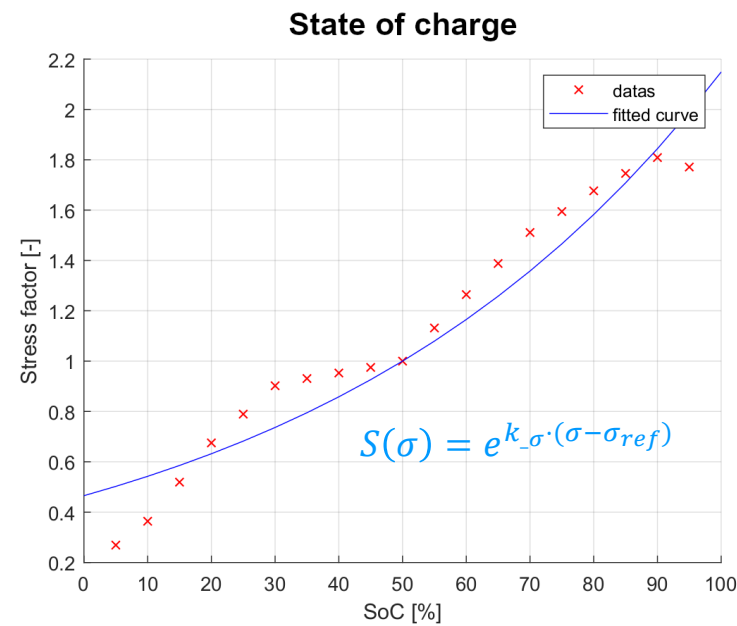
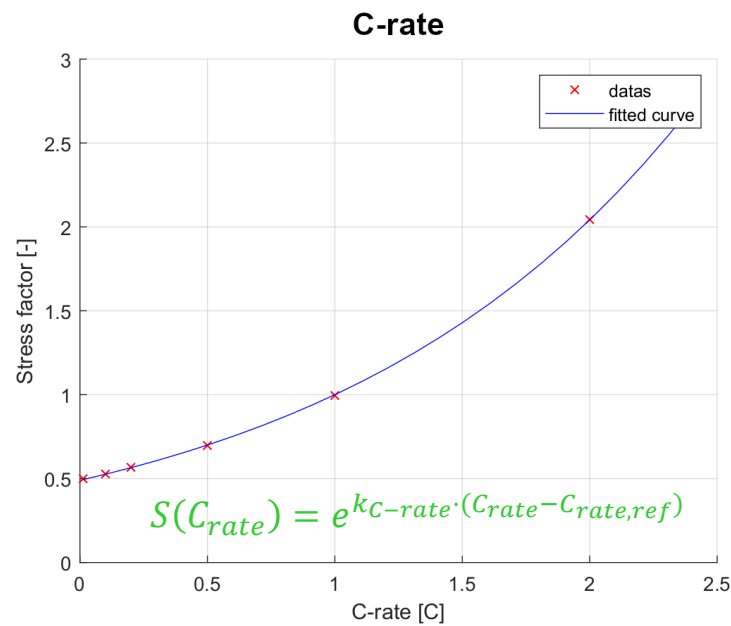


Modélisation du système de stockage électrique

Facteurs de stress

Dégradation temporelle: $d_{cal} = k_t \cdot S(\sigma) \left[\frac{p.u.}{s} \right]$

Dégradation cyclique: $d_{cyc} = k_{cyc} \cdot S(C_{rate}) \cdot S(\bar{\sigma}) \cdot S(\delta) \left[\frac{p.u.}{cycle} \right]$

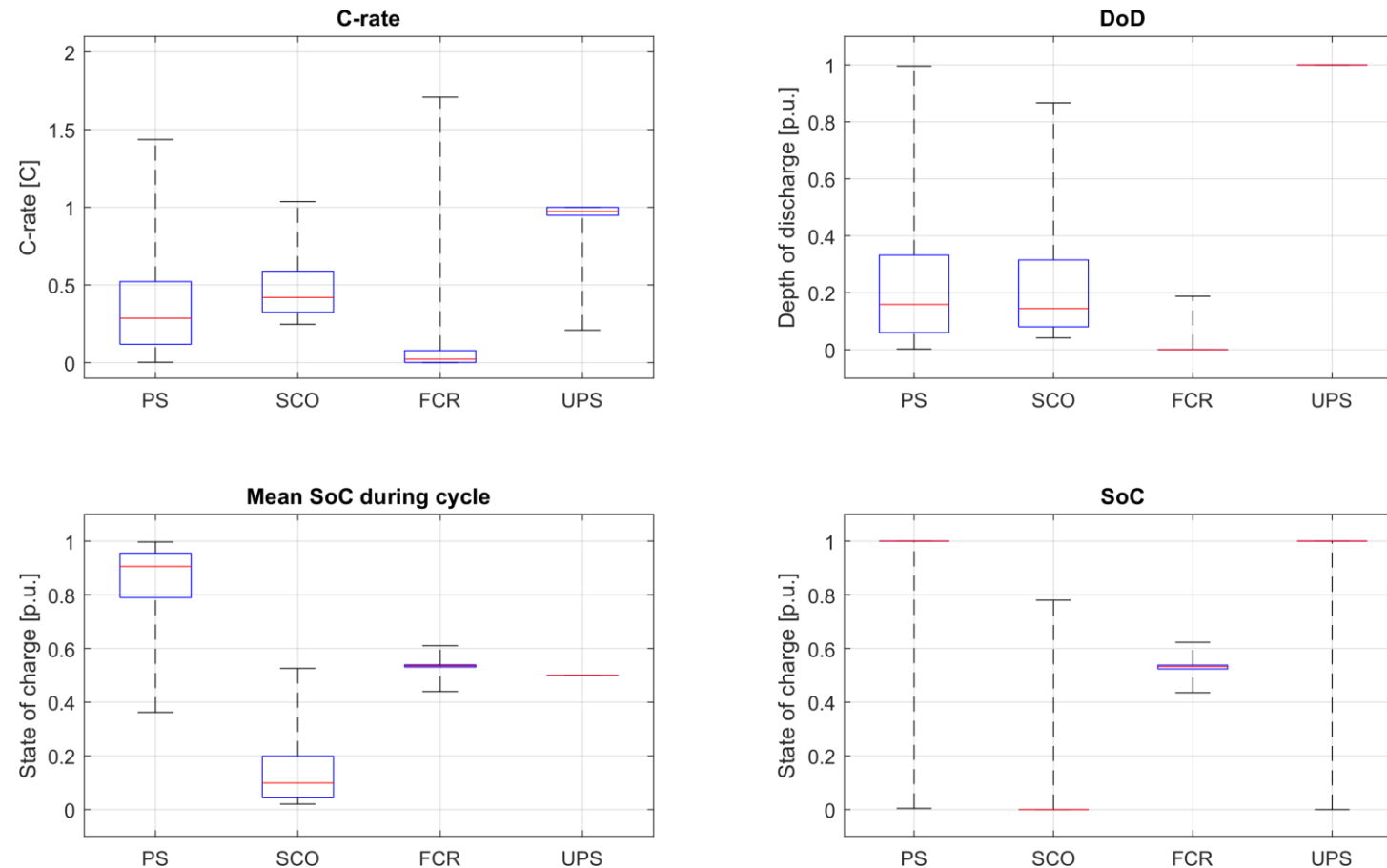


Impact des facteurs de stress du système de stockage d'énergie

Analyse des performances énergétiques et de la dégradation du système

Performances énergétiques et dégradation du système

Facteurs d'influences

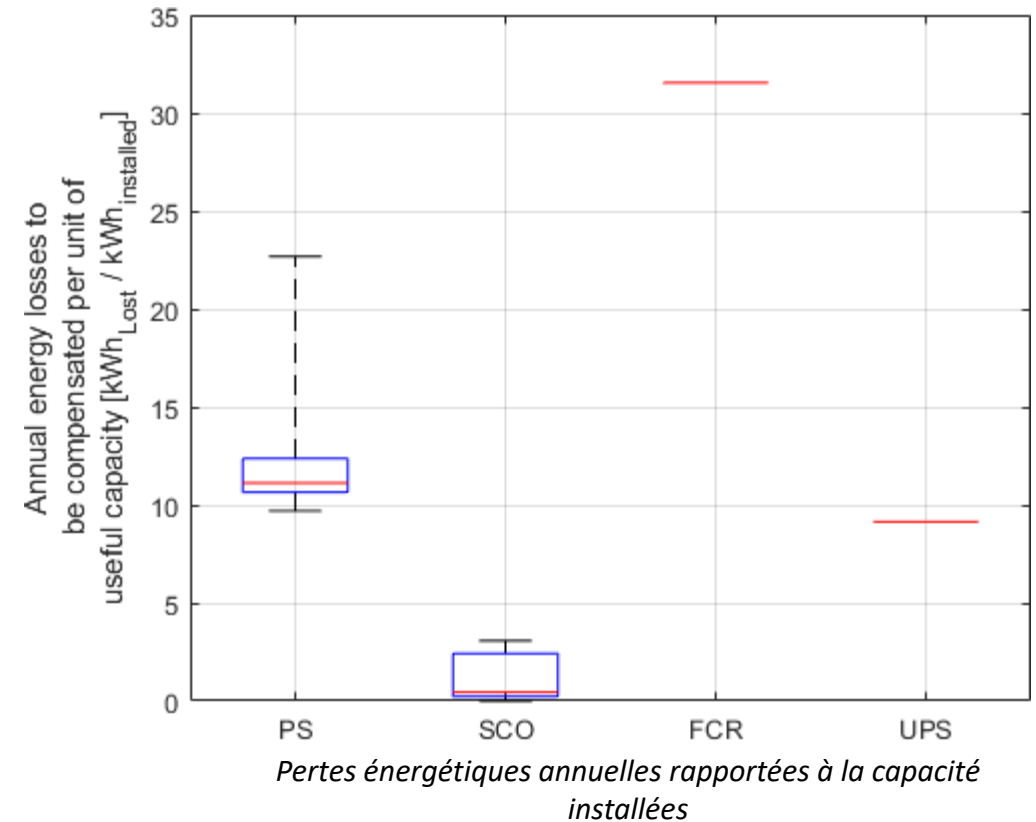


Résultats de l'analyse statistique des différents facteurs d'influences

Performances énergétiques et dégradation du système

Pertes d'énergie

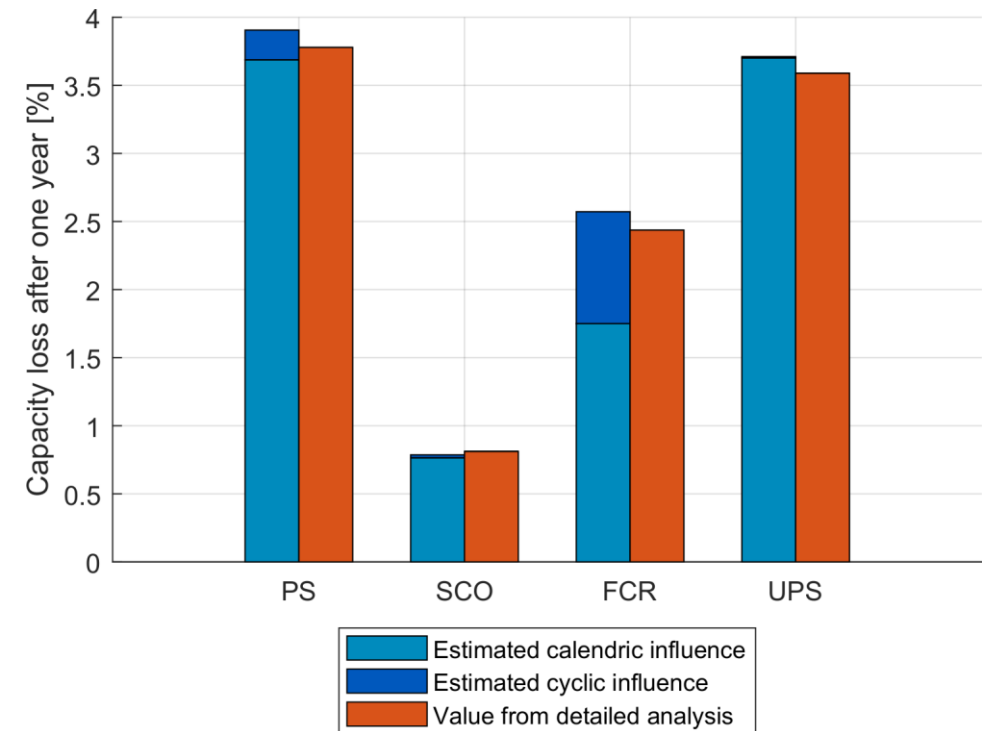
- ▶ Pertes liées à l'utilisation de la batterie
- ▶ Part constante provoqué par la consommation interne du système
- ▶ Pertes faible lorsque la batterie est déchargée
 - Consommation interne nulle si SoC = 0%



Performances énergétiques et dégradation du système

Taux de dégradation

- ▶ Dégradation fortement influencée par le niveau de charge de la batterie
- ▶ Valeurs estimées sur la base des valeurs médianes des facteurs d'influences



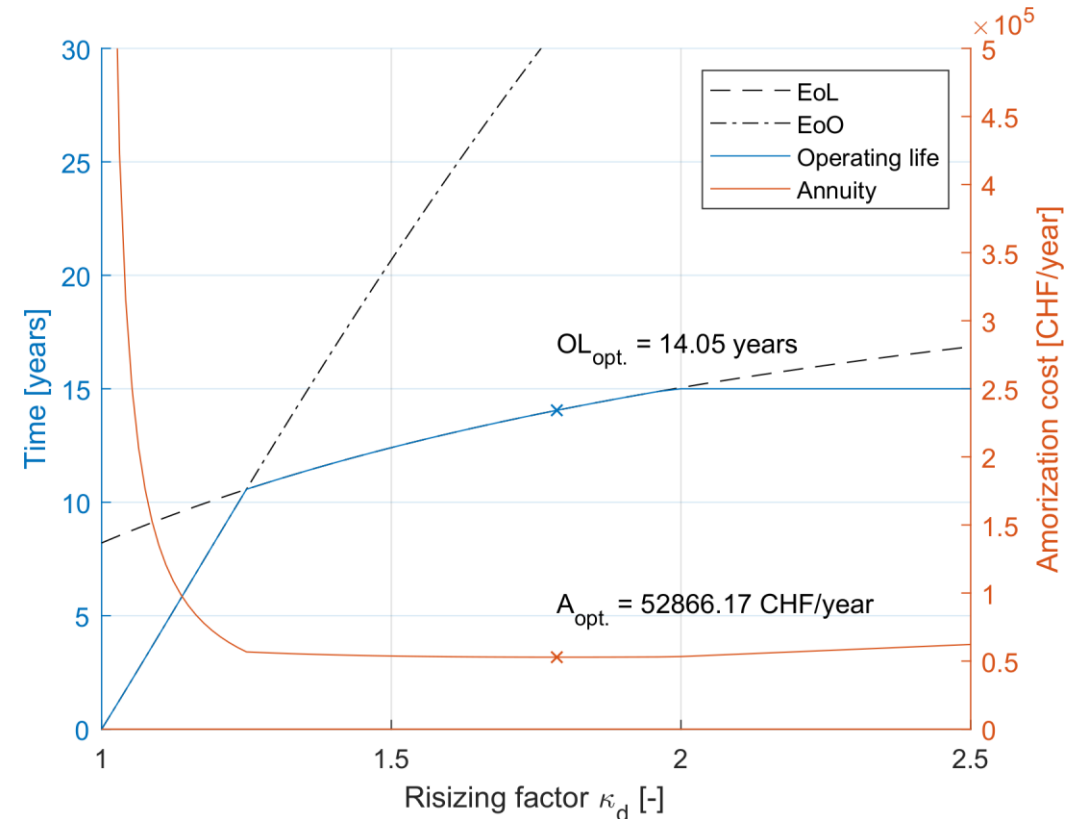
Capacité de stockage perdue après un an d'opération (avant surdimensionnement)

Performances énergétiques et dégradation du système

Compensation de la dégradation

- ▶ L'augmentation de la capacité de stockage permet de prolonger la durée opérationnelle du système
→ Période d'amortissement prolongée
- ▶ Les frais d'investissement sont plus importants

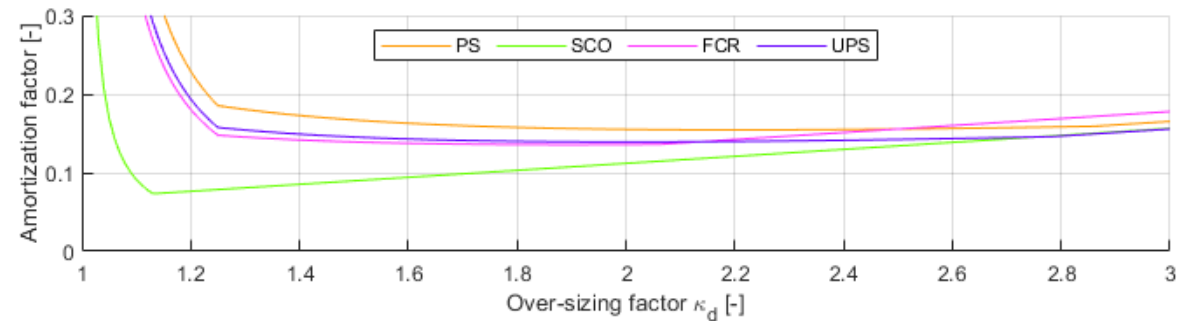
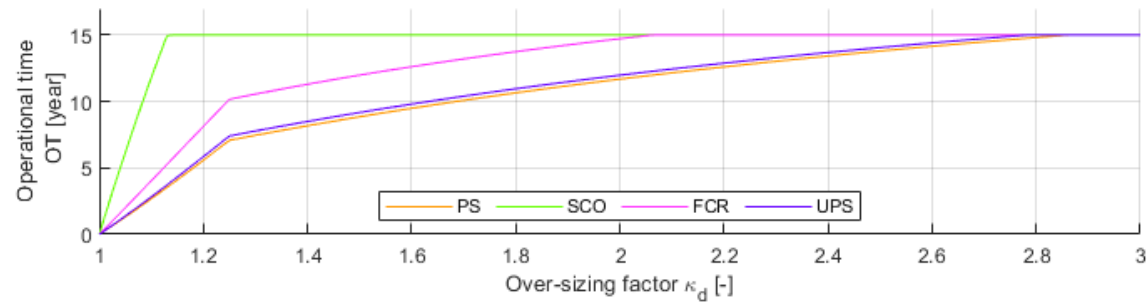
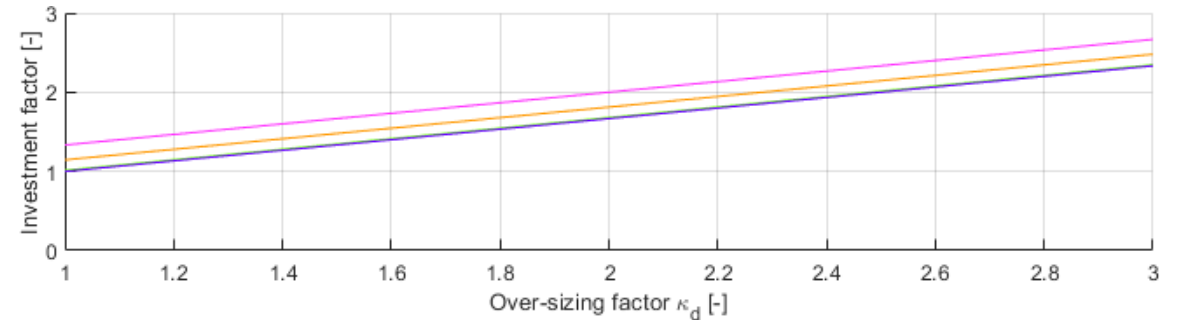
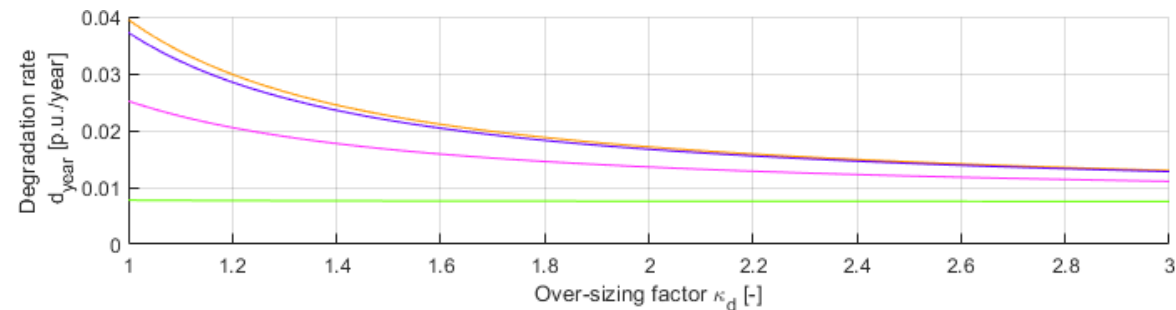
→ Optimum: annuité minimale



Durée opérationnelle et annuité de la batterie en fonction du facteur de surdimensionnement κ_d

Performances énergétiques et dégradation du système

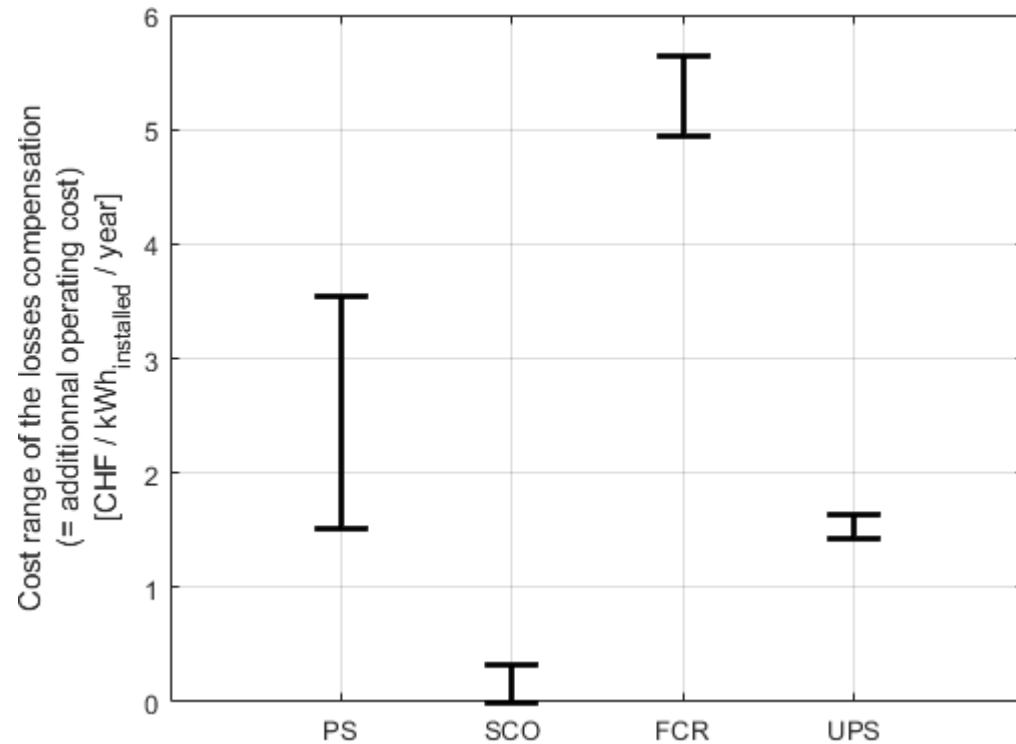
Compensation de la dégradation – comparaison des services



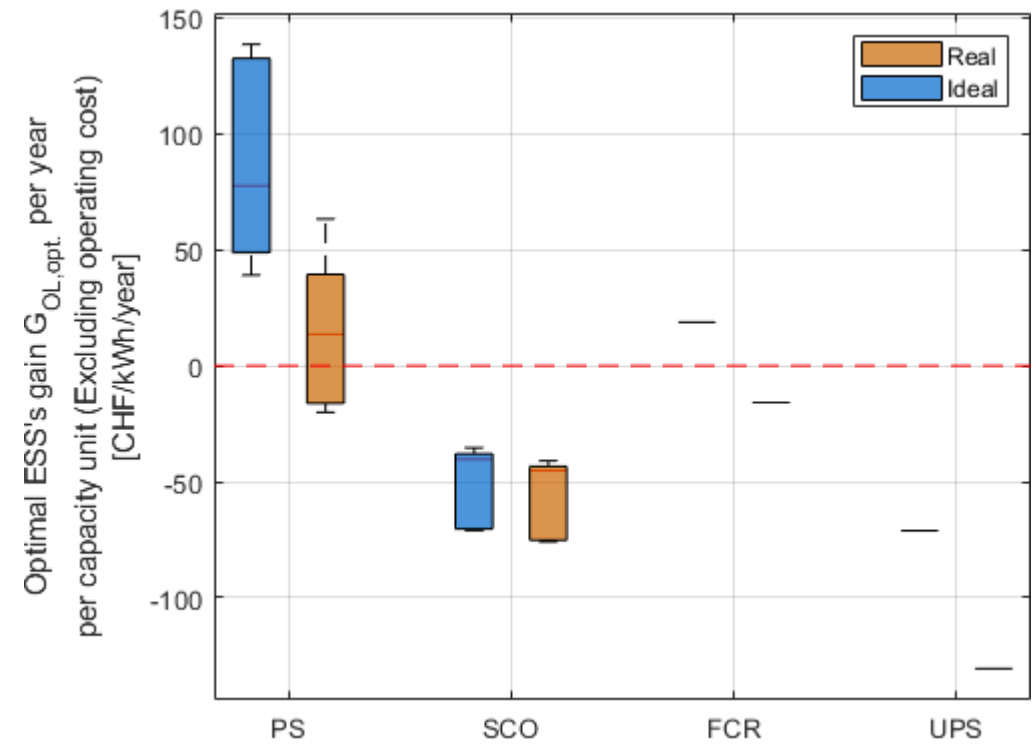
Valeurs rapportées à la capacité installée de la dégradation annuelle, de la durée d'opérationnelle, d'investissement initial et de l'annuité pour chaque service

Performances énergétiques et dégradation du système

Bilan économique



Frais opérationnels supplémentaires liés à la compensation des pertes d'énergie



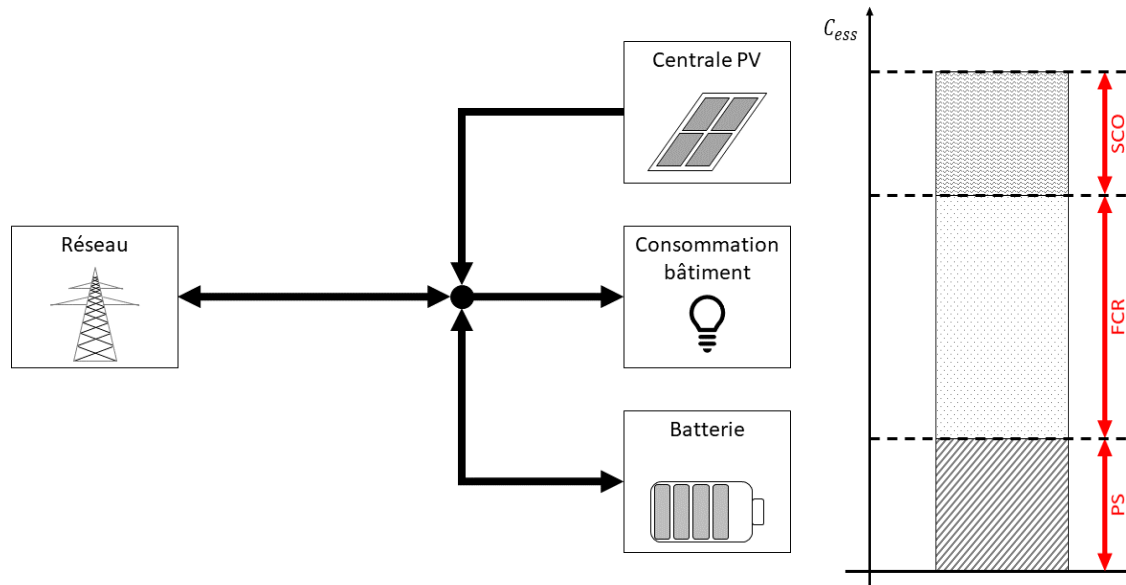
Gains économiques annuels (frais opérationnels exclus)

Combinaison des stratégies d'opération

Combinaison des services

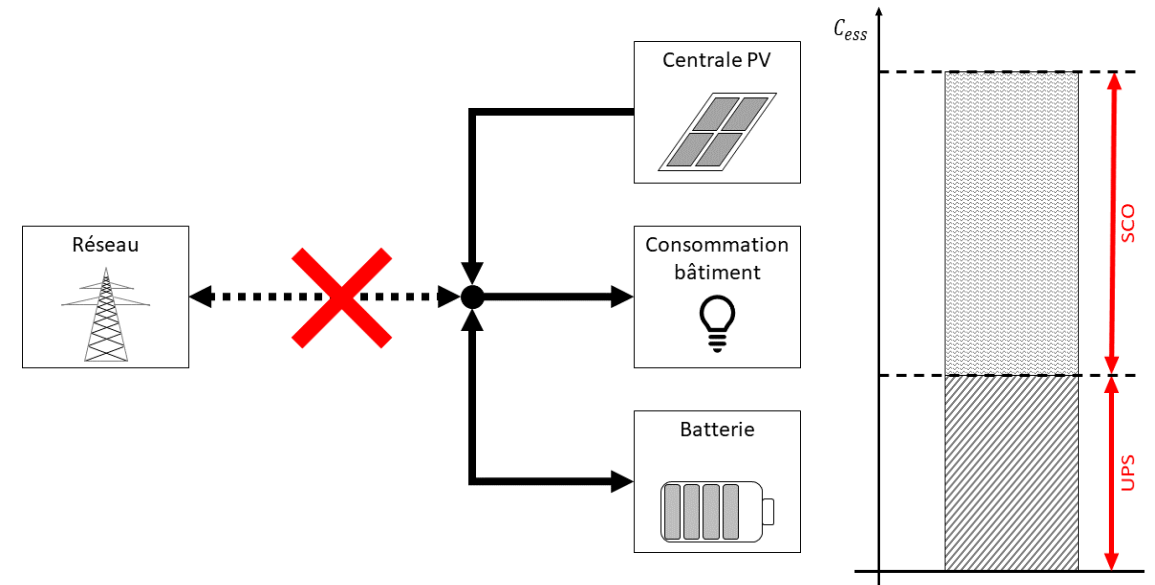
Situations évaluées

“On-grid”



Services considérés: PS, SCO et FCR

“Off-grid”

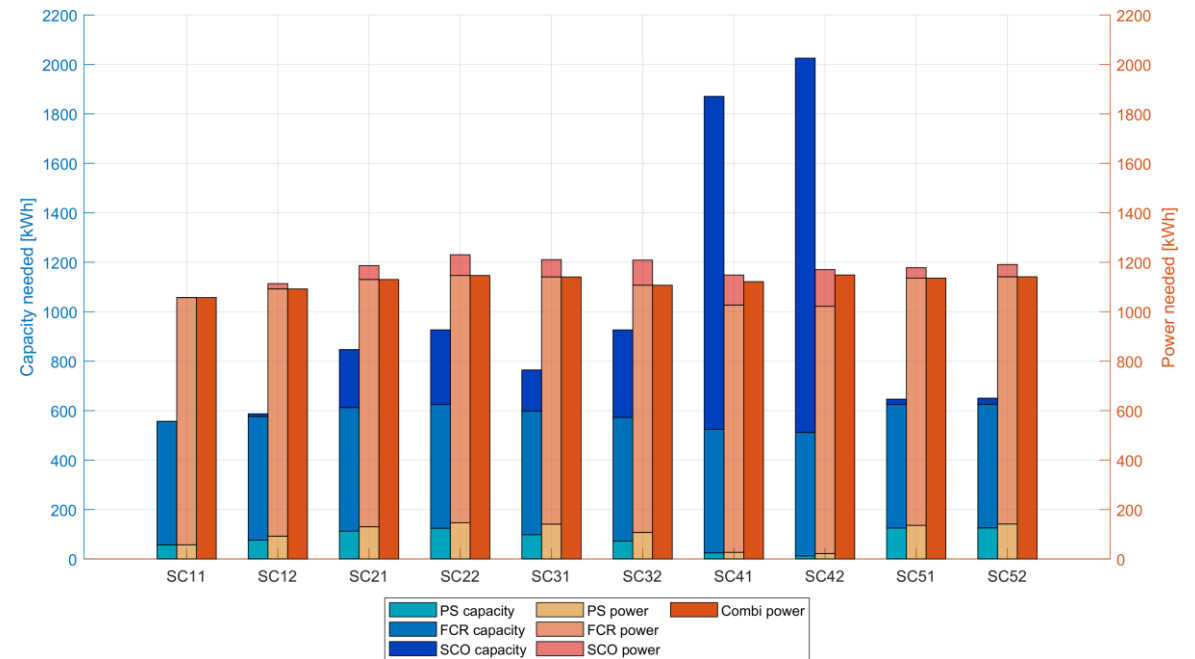


Services considérés: SCO et UPS

Combinaison des services

Partage de la capacité de stockage – configuration «on-grid»

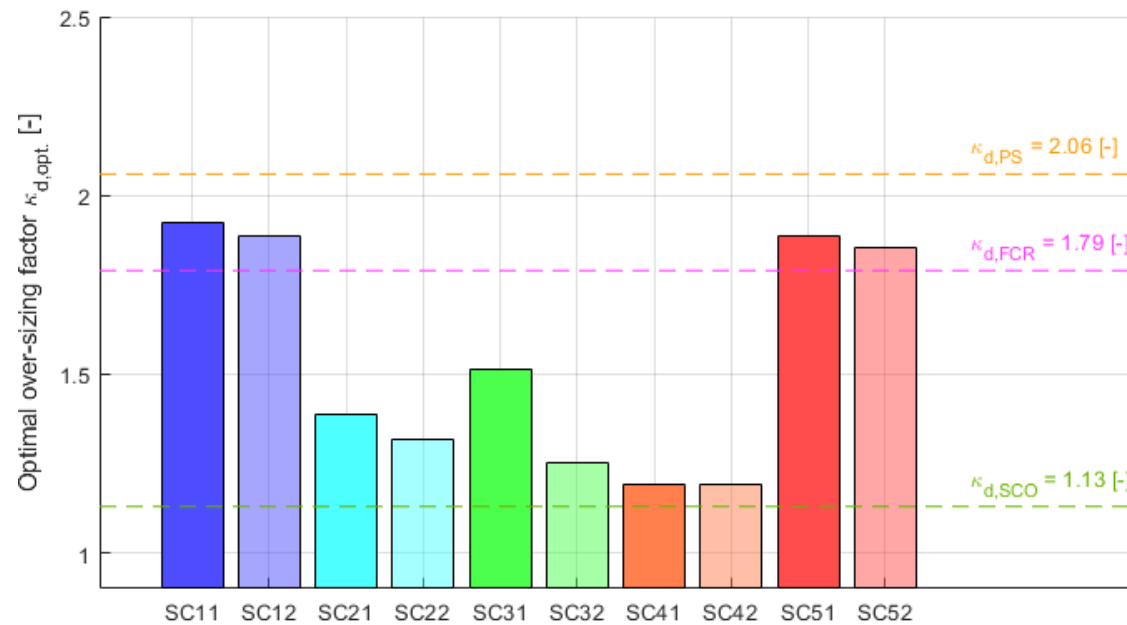
- ▶ Les capacités “individuelles” sont additionnées pour former la batterie “multi-services”
 - Disponibilité maximale pour tous les services
- ▶ Puissance combinée plus faible
 - Certains services ne peuvent intervenir simultanément
- ▶ Puissance réservée pour le service «FCR» constante
 - Spécifications de la stratégie



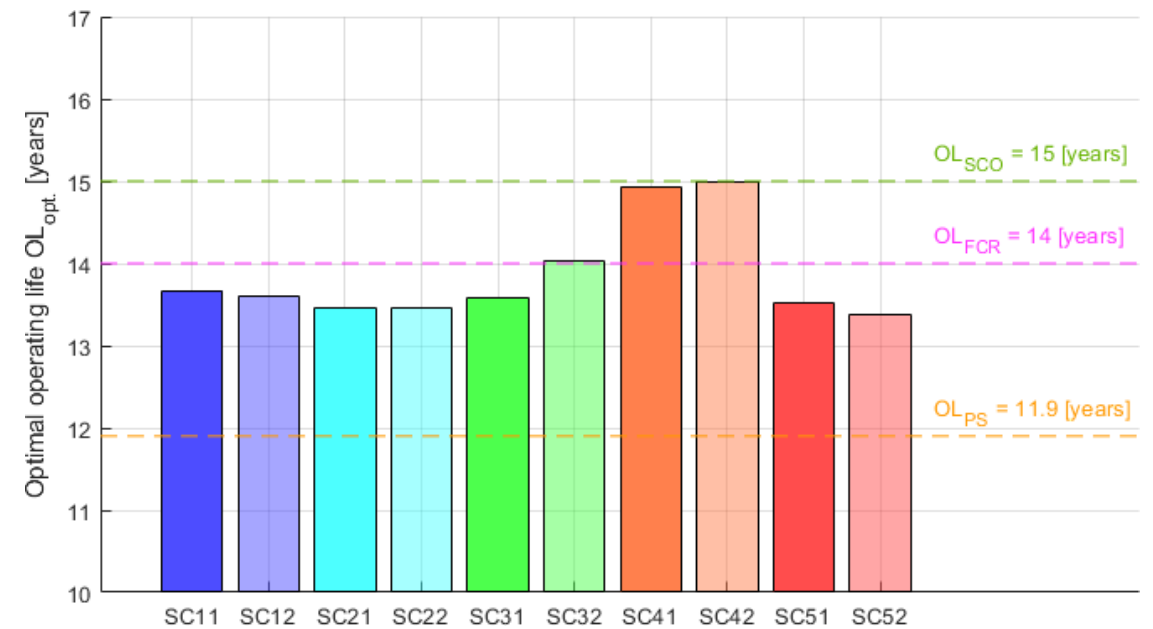
Combinaison des services dans la configuration «on-grid»

Combinaison des services

Impact de la combinaison sur la dégradation - configuration «on-grid»



Facteurs de surdimensionnement optimaux en configuration «on-grid»

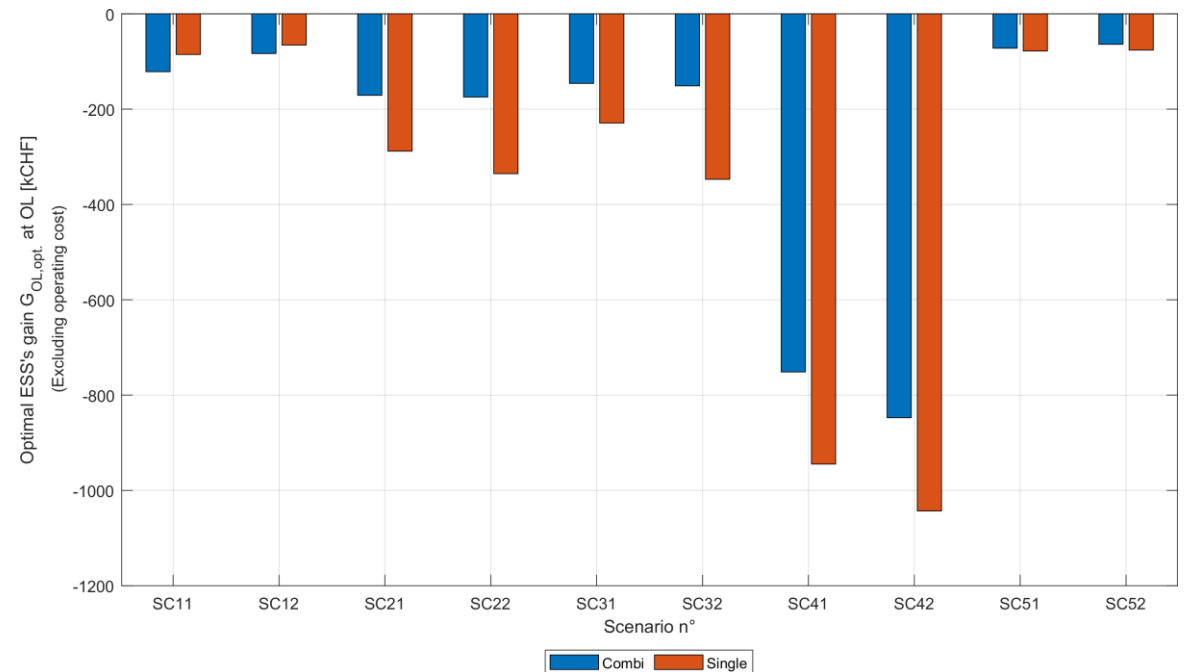


Durées opérationnelles optimales en configuration «on-grid»

Combinaison des services

Comparaison des gains économiques - configuration «on-grid»

- ▶ De manière générale, la combinaison des services permet de diminuer le déficit.
- ▶ Sous les considérations actuelles, Il est en aucun cas possible de rendre une situation bénéficiaire
 - Le service SCO agit positivement sur la dégradation mais le revenu supplémentaire est trop faible

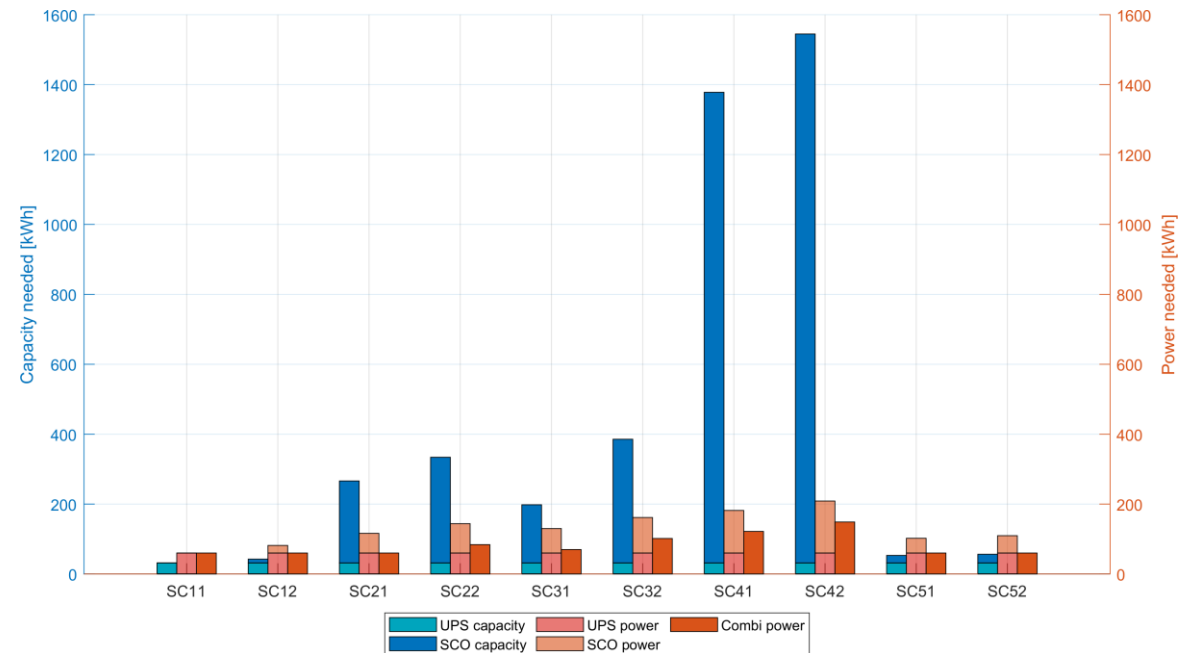


Gains économiques en configuration «on-grid»

Combinaison des services

Partage de la capacité de stockage – configuration «off-grid»

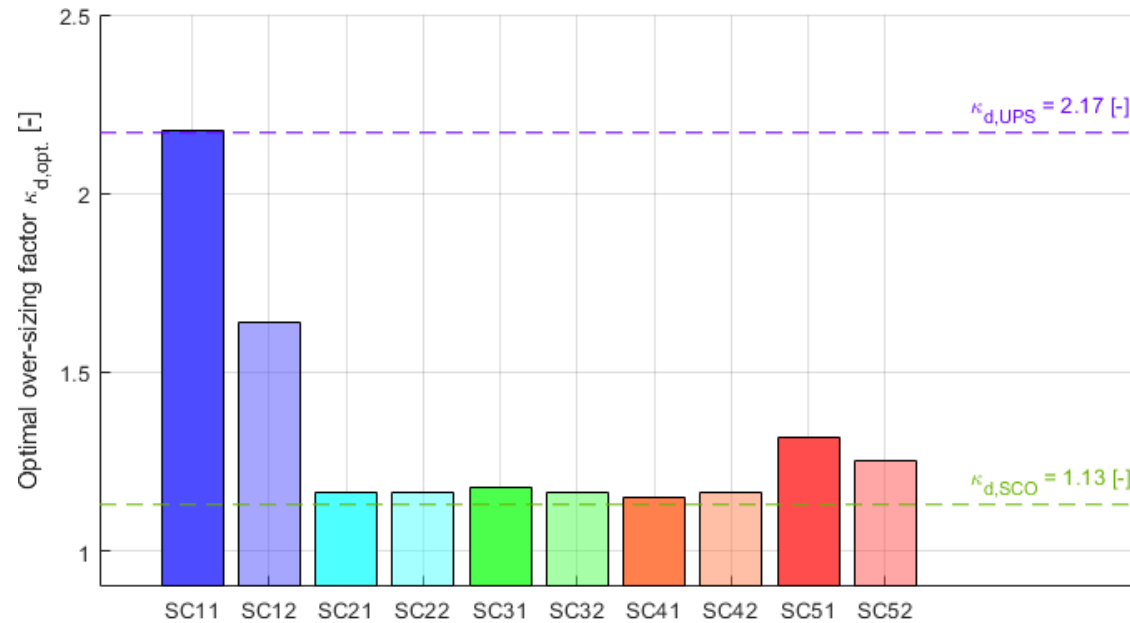
- ▶ Diminution intéressante de la puissance globale de la batterie «multi-services» comparée aux cas individuels
 - Puissances des services «SCO» et «UPS» dans le même ordre de grandeur



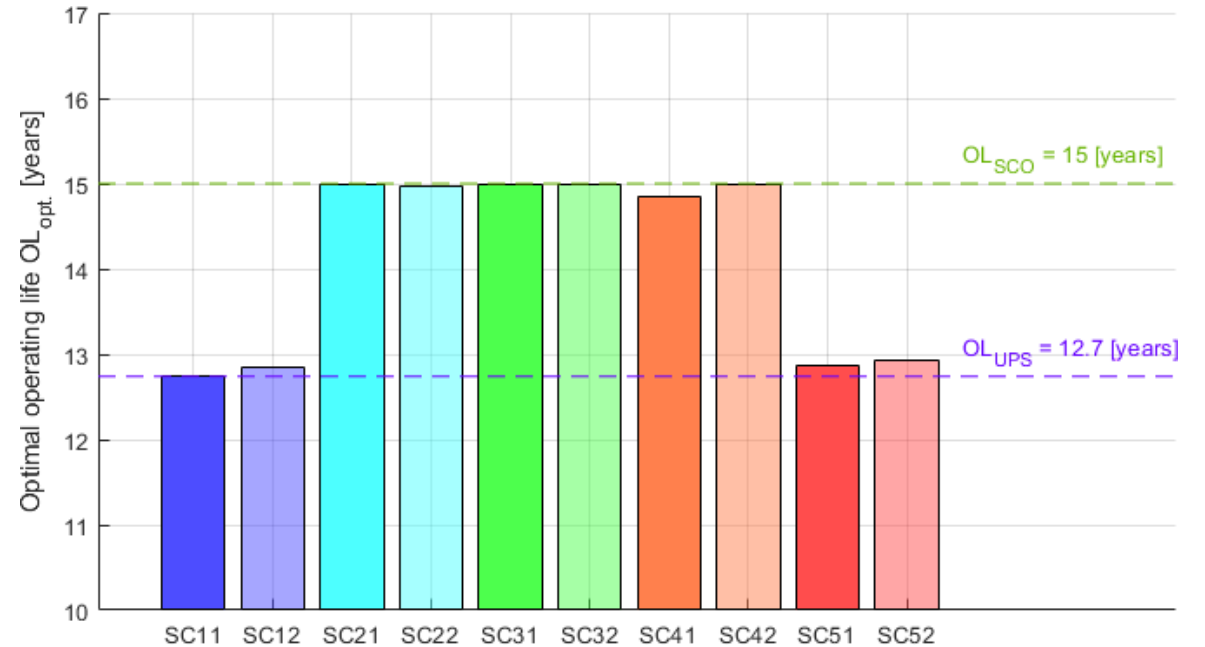
Combinaison des services dans la configuration «off-grid»

Combinaison des services

Impact de la combinaison sur la dégradation - configuration «off-grid»



Facteurs de surdimensionnement optimaux en configuration «off-grid»

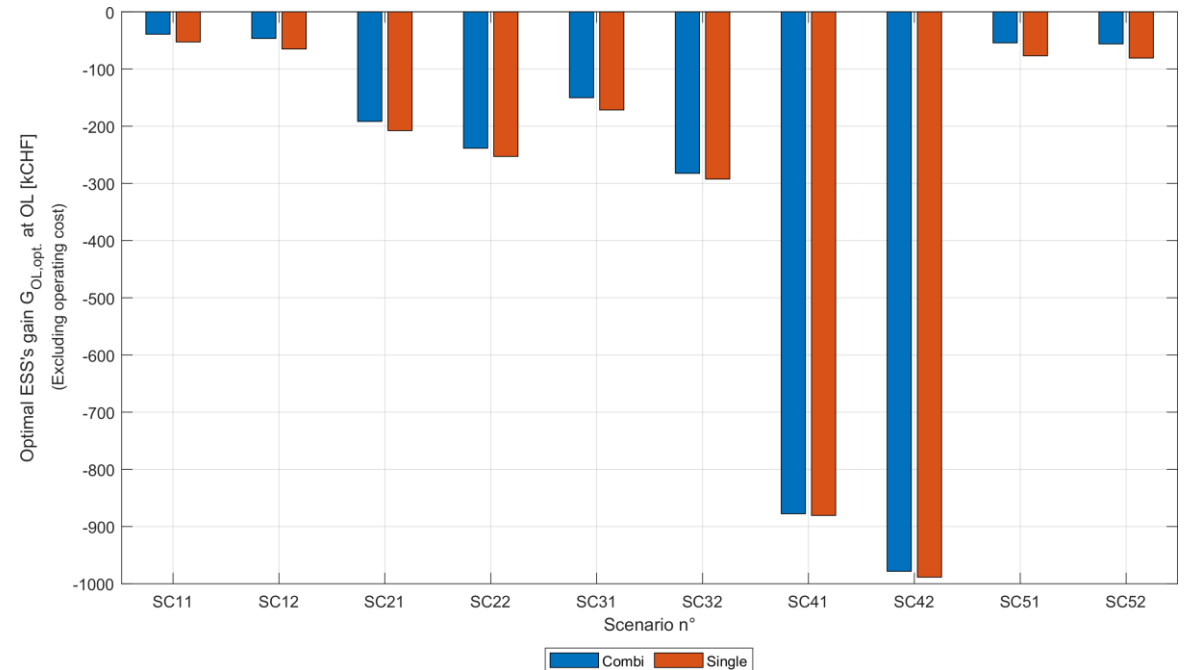


Durées opérationnelles optimales en configuration «off-grid»

Combinaison des services

Comparaison des gains économiques - configuration «off-grid»

- ▶ L'influence de la combinaison sur l'investissement est trop faible pour obtenir une nette diminution de l'annuité.
- ▶ Les revenus des services «SCO» et «UPS» sont trop faible pour rembourser les investissements initiaux.
 - Combinaison de deux services déficitaires



Gains économiques en configuration «off-grid»

Conclusion et perspectives

Conclusion

- ▶ En raison de leurs caractéristiques, chaque service impacte de manière différente les performances énergétiques et la dégradation de la batterie.
- ▶ Une prolongation de la durée opérationnelle est possible en surdimensionnant le système. Une optimisation des coûts devra être réalisée pour assurer la rentabilité du projet.
- ▶ Dans certains cas, les coûts supplémentaires rendent le projet déficitaire malgré les efforts concédés pour minimiser les frais.

Conclusion – suite

- ▶ Energétiquement, l'intégration d'un système de stockage présente des avantages
 - ▶ Réduction des pointes de puissances importées du réseau
 - ▶ Production photovoltaïque totalement autoconsommée
 - ▶ Alimentation électrique lors d'interruption d'approvisionnement du réseau
- ▶ Cependant, la rentabilité ne peut pas être atteinte dans toutes les situations
 - ▶ Revenus trop faibles dans certaines stratégies de fonctionnement
 - ▶ Contexte économique non-favorable
 - ▶ Période d'amortissement trop courte

Perspectives

- ▶ Cette étude a permis de développer une approche utile pour le dimensionnement des systèmes de stockage d'énergie.
 - ▶ La méthodologie considère les performances énergétiques et la dégradation du système
- ▶ Approfondissement de l'analyse en ajustant les paramètres du modèle avec des données réelles
- ▶ Répéter le dimensionnement en considérant des valeurs mesurées de la consommation et de la production

Merci pour votre attention



Contact

Yoann Moullet

Assistant de recherche

Centre BFH Stockage d'énergie

yoann.moullet@bfh.ch

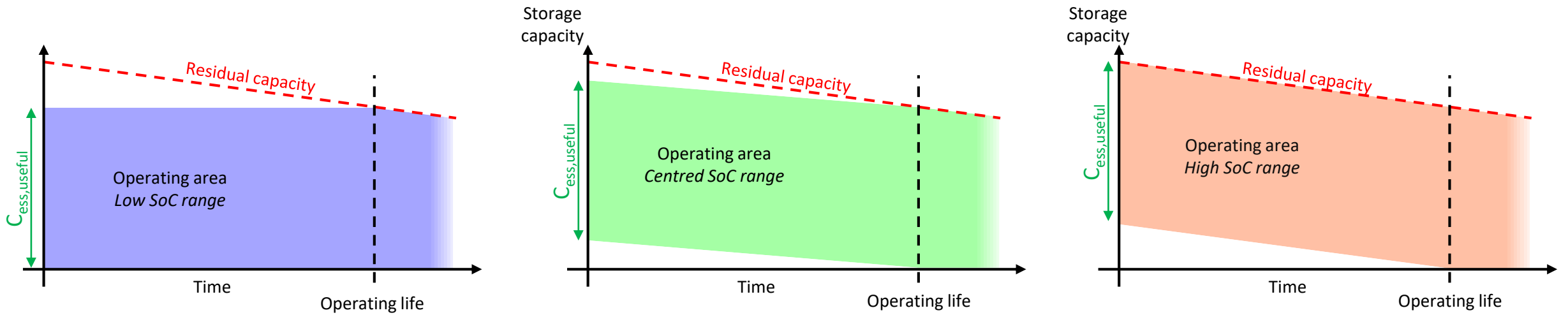
bfh.ch/energy

Références

- [1] Switzerland Innovation Park Biel/Bienne. [Online]. Available: <https://www.sipbb.ch/en/>
- [2] P. Ralon, M. Taylor, A. Ilas, H. Diaz-Bone, and K. Kairies, “Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030”, *International Renewable Energy Agency: Abu Dhabi, United Arab Emirates*, 2017. [Online]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf

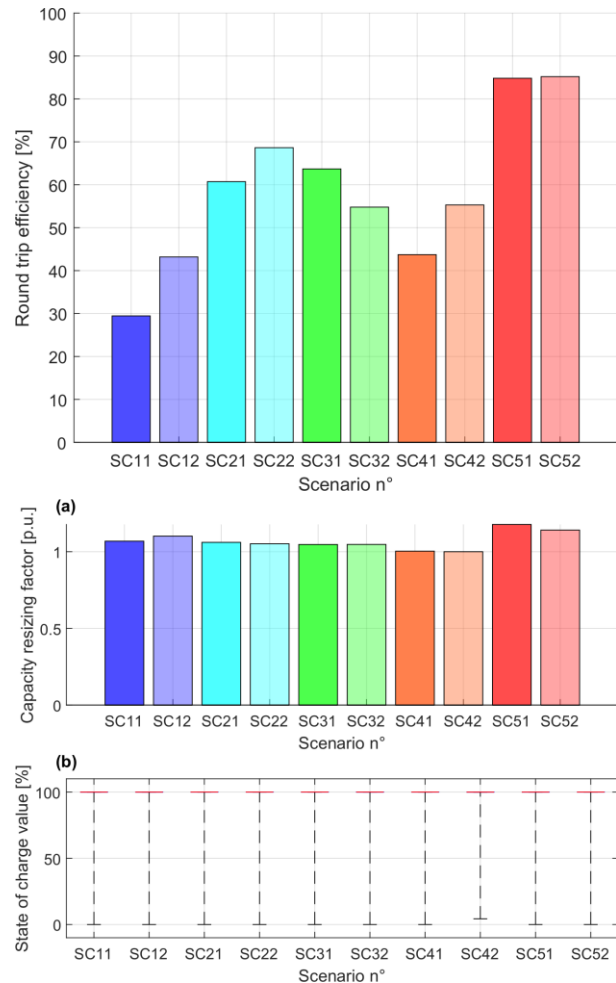
Source images page de titre: <https://www.sipbb.ch/fr> [1]

Annexe



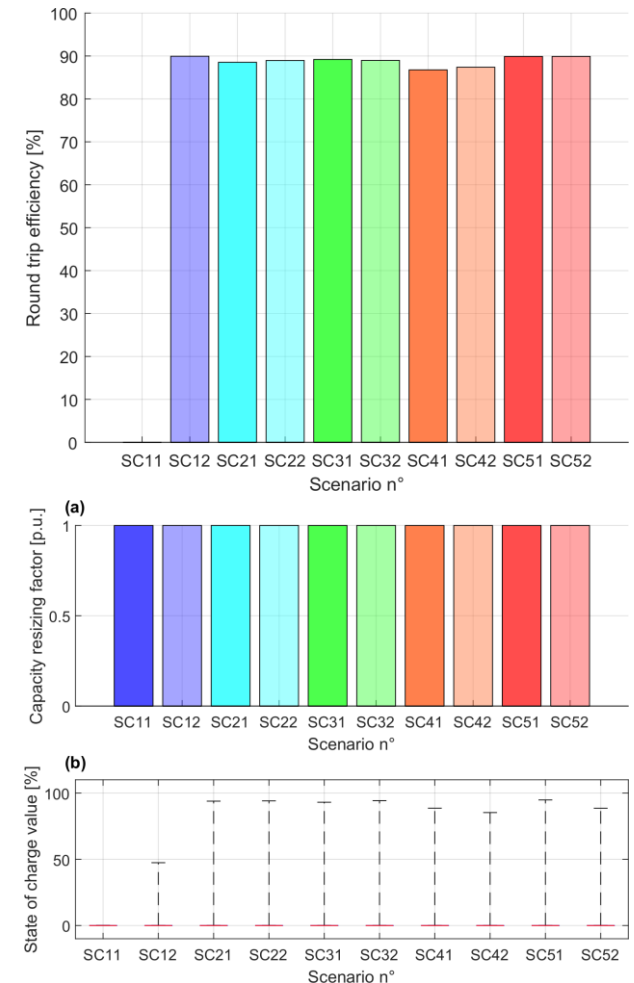
Simulation en conditions réelles – pertes énergétiques

PS



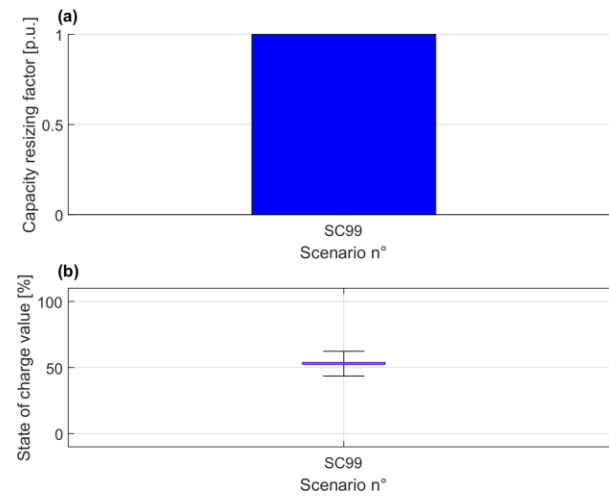
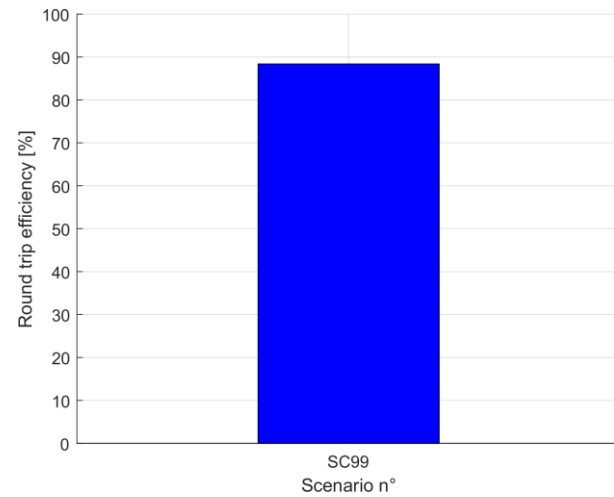
- ▶ Efficacité globale de la batterie dépend de son utilisation
- ▶ Un surdimensionnement de la capacité est nécessaire lorsque le processus de décharge est important
 - Les pertes doivent constamment être compensées

SCO



Simulation en conditions réelles – pertes énergétiques

FCR



- ▶ Rendement proche de la valeur de rendement de stockage ($\eta_{storage} = 90\%$)
- ▶ Surdimensionnement non-nécessaire, mais un ajustement de la valeur cible l'état de charge

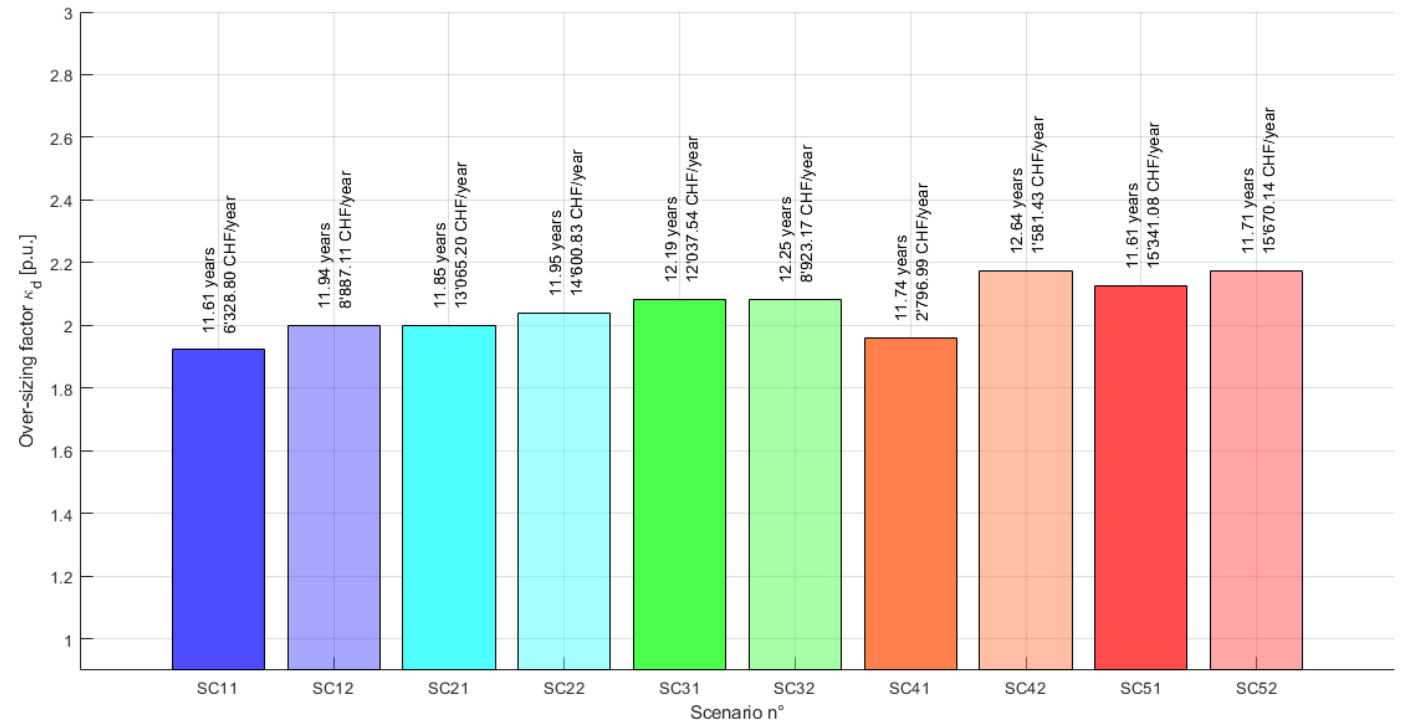
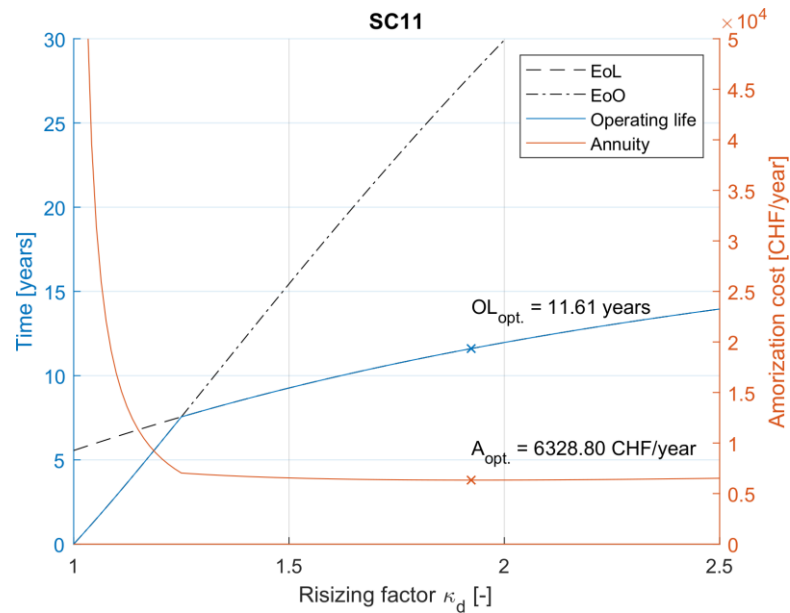
UPS

- ▶ Utilisation quasi nulle de ce service → Rendement faible
 - Compensation des pertes en continu
- ▶ Surdimensionnement nécessaire
 - 30 kWh → 31.6 kWh

Simulation en conditions réelles - dégradation

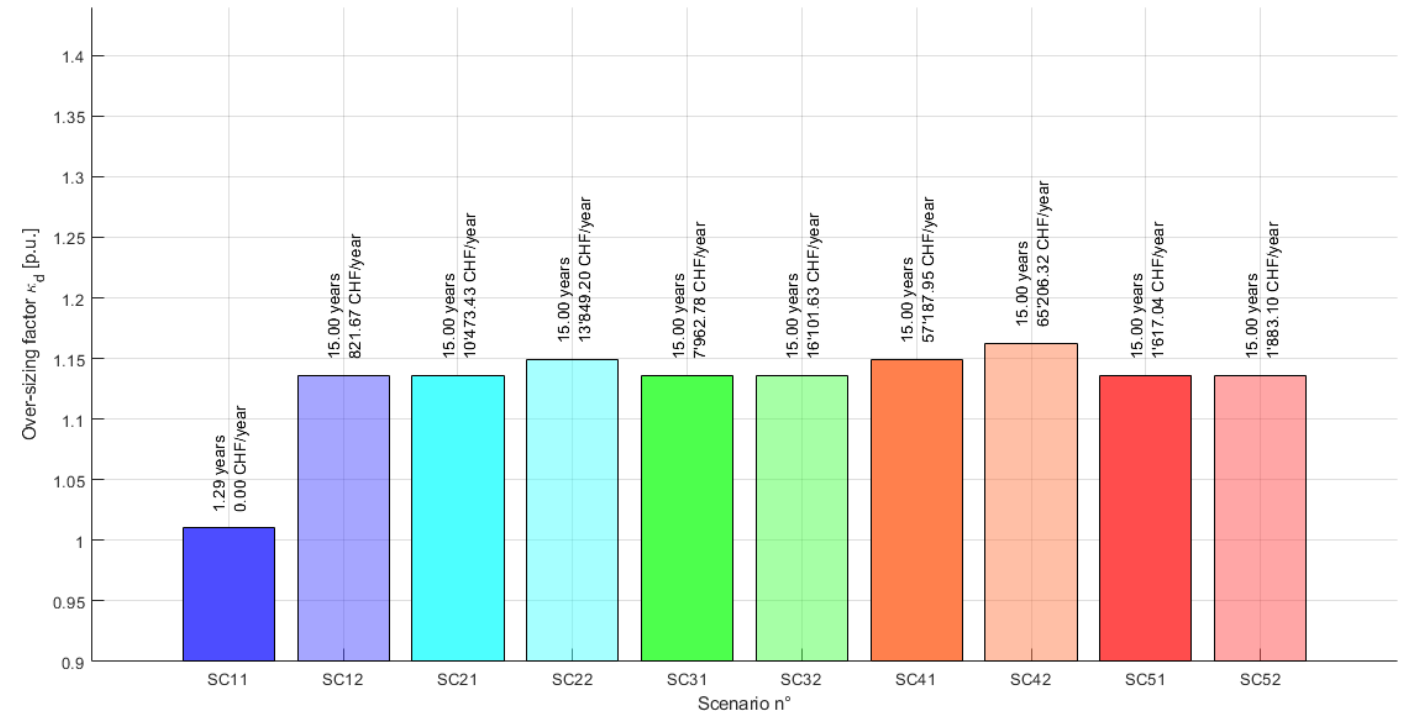
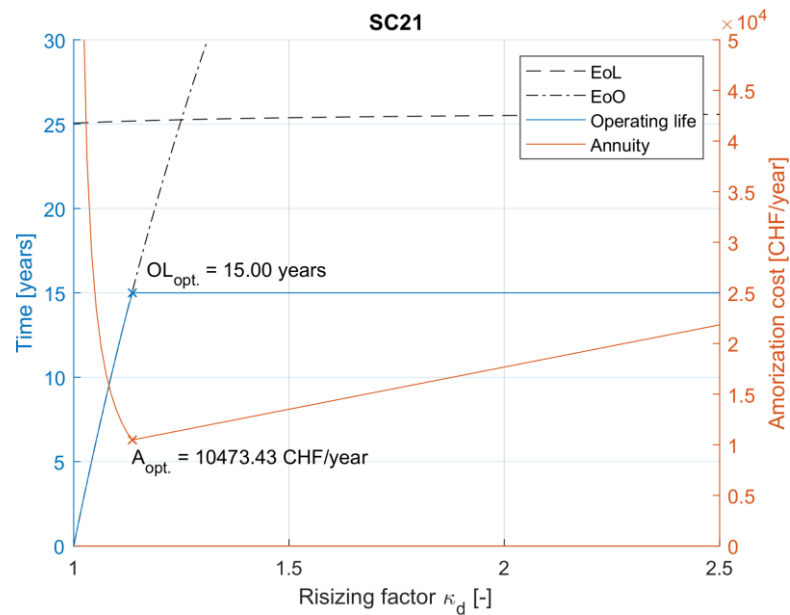
Peak-shaving

► sd



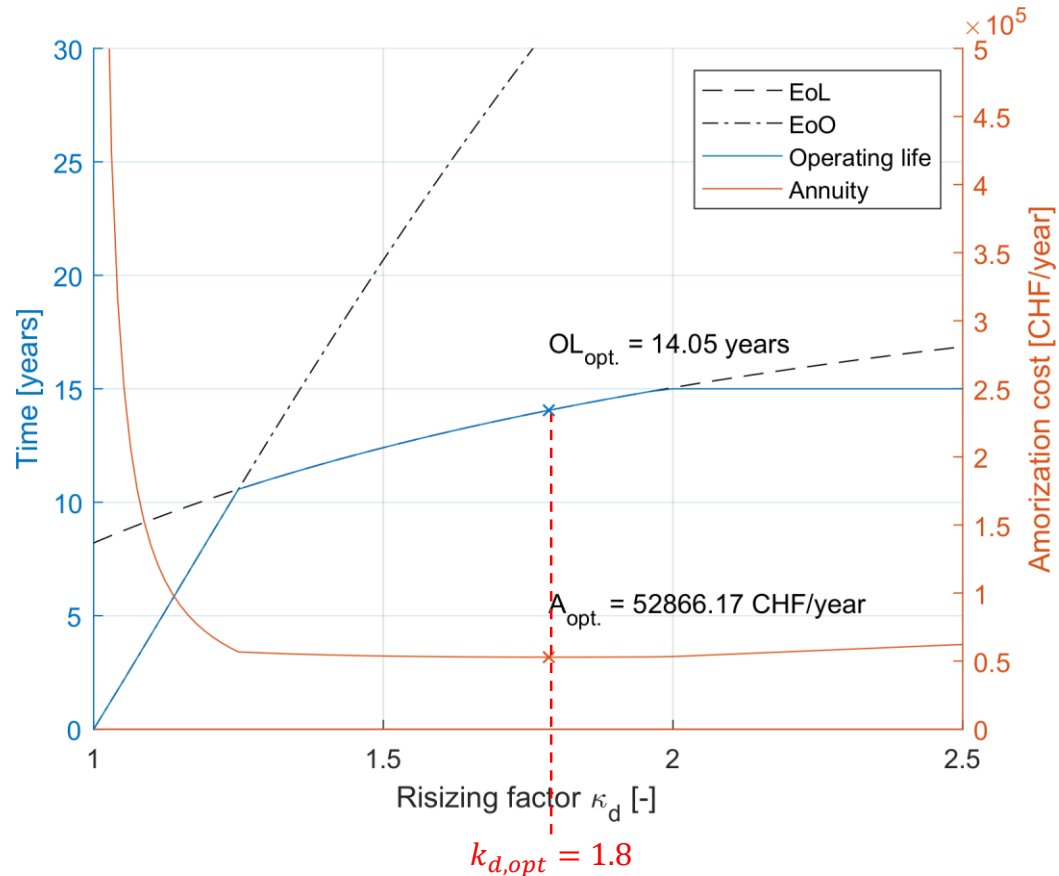
Simulation en conditions réelles - dégradation

Optimisation de l'autoconsommation



Simulation en conditions réelles - dégradation

Fourniture de puissance de réglage primaire



Alimentation anti-interruption

