

Effet du pas de temps sur la simulation d'un système éolien-stockage

Pierre Haessig*, Hamid Ben Ahmed*, Bernard Multon*

* CentraleSupélec – IETR,
* ENS Rennes – laboratoire SATIE

SGE, Grenoble, 8 juin 2016

<http://pierreh.eu>

pierre.haessig@centralesupelec.fr

Plan de la présentation

1. Enjeu : choix du pas de temps
2. Méthode
 - Système étudié
 - Modélisation & gestion du système de stockage
 - Démarche de l'étude
 - Indices de performance et de vieillissement
3. Résultats : effet du pas de temps
 - Performance du système de stockage
 - Vieillissement en cyclage
4. Conclusion
 - Choix du pas de temps
 - Généralisation et perspectives

Plan de la présentation

1. Enjeu : choix du pas de temps
2. Méthode
3. Résultats : effet du pas de temps
4. Conclusion

Choix du pas de temps

La performance des systèmes énergétiques dynamiques (véhicule en mouvement, système de stockage d'énergie), est souvent évaluée par **simulation temporelle**.

- Le choix du pas de temps Δ_t relève d'un compromis :
- Δ_t court : simulation fidèle, mais lente (temps de calcul)
 - Δ_t long : simulation plus rapide, mais plus grossière

Pas de temps subi : les données d'entrée ?

Souvent, la simulation temporelle utilise des *données d'entrée*.
→ le pas de temps des données s'impose à la simulation.



Pas de temps subi : les données d'entrée ?

Souvent, la simulation temporelle utilise des *données d'entrée*.
→ le pas de temps des données s'impose à la simulation.



Il reste tout de même une (petite) part de liberté :

- pour allonger Δ_t : agréger les données (ex. : moyennage)
- pour raffiner Δ_t : chercher de nouvelles données

Objectif de l'étude et application choisie

Objectif

Étude *quantitative* de l'effet du choix du pas de temps sur l'évaluation de la performance d'un système énergétique.

Objectif de l'étude et application choisie

Objectif

Étude *quantitative* de l'effet du choix du pas de temps sur l'évaluation de la performance d'un système énergétique.

Application (enjeu du choix : simple, mais concrète)

Garantie de production d'un parc éolien,
grâce à un stockage d'énergie.

Pour ce système, les critères de performances à évaluer :

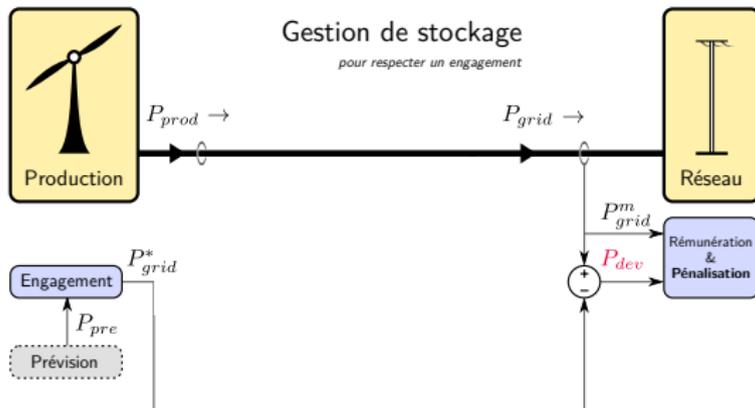
- **fluctuations** de production de l'ensemble éolien-stockage
- **vieillessement** du système de stockage
- **pertes** du système de stockage

Plan de la présentation

1. Enjeu : choix du pas de temps
2. Méthode
 - Système étudié
 - Modélisation & gestion du système de stockage
 - Démarche de l'étude
 - Indices de performance et de vieillissement
3. Résultats : effet du pas de temps
4. Conclusion

Système étudié : éolien-stockage

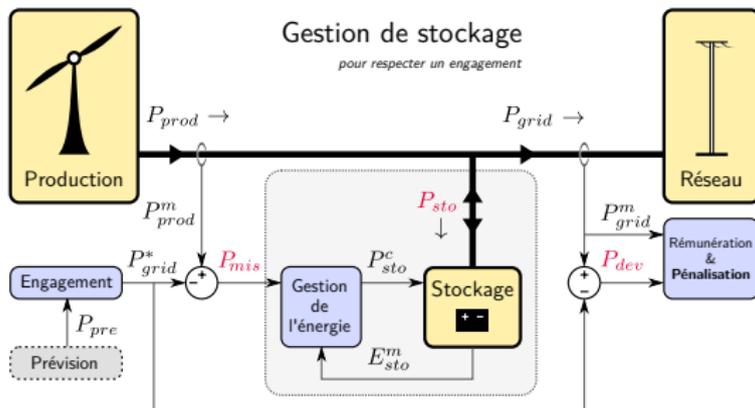
Objectif : garantir la production éolienne par palier de 1 h.



Engagement P_{grid}^* = moyenne horaire précédente.

Système étudié : éolien-stockage

Objectif : garantir la production éolienne par palier de 1 h.



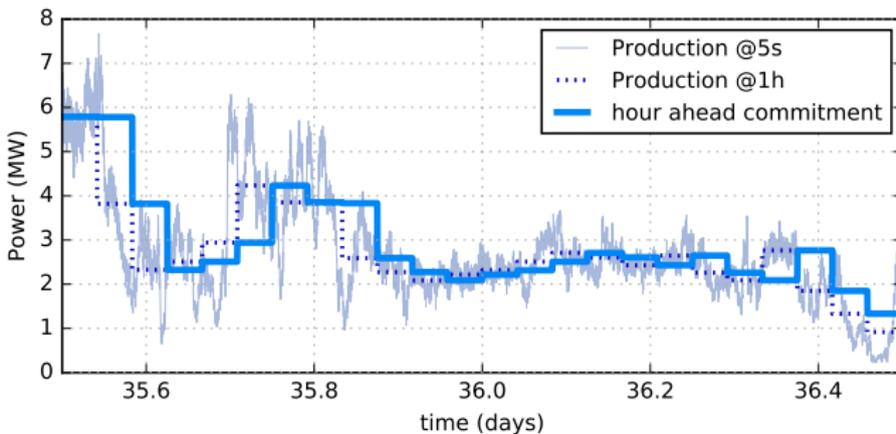
Engagement P_{grid}^* = moyenne horaire précédente.

Le stockage doit absorber les écarts engagement-production pour **réduire l'écart en sortie** P_{dev} :

$$P_{dev} = \underbrace{P_{mis}}_{P_{prod} - P_{grid}^*} - P_{sto}$$

Données de production éolienne utilisées

Ferme éolienne : 10,2 MW (37 turbines Vergnet) à La Réunion.
Données : production au pas de 5 s pendant 208 j → 3 Mpts.



Extrait de 24 h de production, avec l'engagement constant par palier.

Stockage : modèle et contrôle

Modèle énergétique idéal à temps discret :

$$E(k+1) = E(k) + P_{sto}(k)\Delta_t$$

Capacité $E_{rated} = 2,5 \text{ MWh}$ (\rightarrow contrainte $0 \leq E(k) \leq E_{rated}$).

Stockage : modèle et contrôle

Modèle énergétique idéal à temps discret :

$$E(k+1) = E(k) + P_{sto}(k)\Delta_t$$

Capacité $E_{rated} = 2,5$ MWh (\rightarrow contrainte $0 \leq E(k) \leq E_{rated}$).

Loi de gestion du stockage :

$$P_{sto} = P_{mis} \text{ "tant que possible",}$$

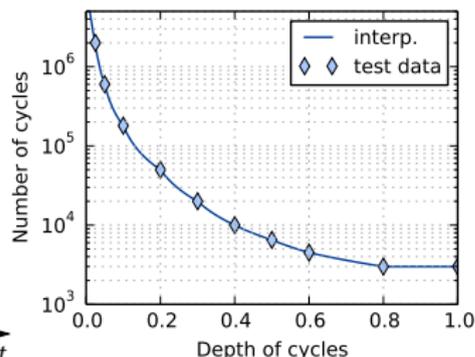
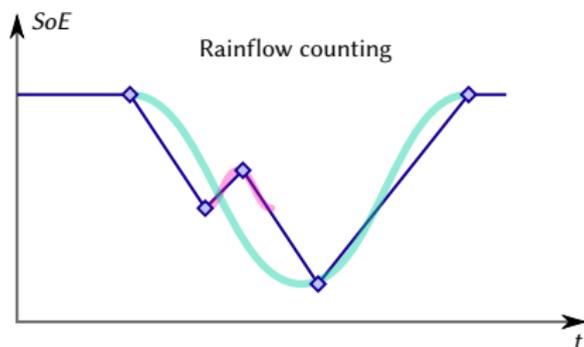
c-à-d tant que les limites du stockage ne sont pas atteintes.

Propriétés de cette stratégie de contrôle :

- loi heuristique très simple
- minimise l'écart à l'engagement $\langle |P_{dev}| \rangle$ (critère MAE).

Modèles de vieillissement de batterie en cyclage

- 1) Modèle d'énergie échangée : $\propto \langle |P_{sto}| \rangle$
- 2) Comptage Rainflow + pénalisation $f(DoD)$



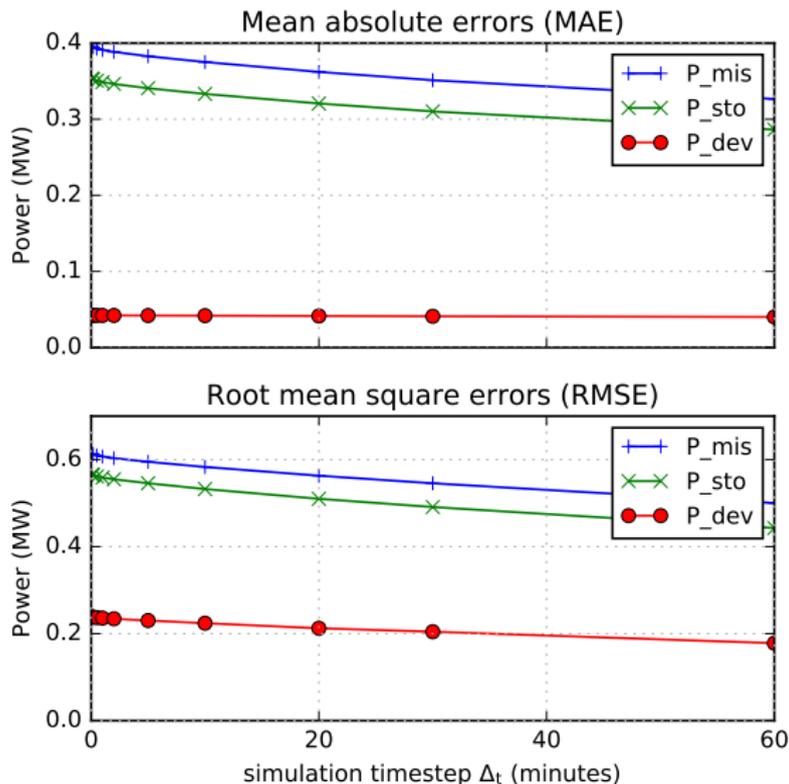
Données constructeur (Lippert, 2010) : durée de vie en cyclage d'une batterie Lithium-ion NCA SAFT. La promesse :

- 3000 cycles à pleine décharge
- et beaucoup plus de petits cycles (180k à 10%)

Plan de la présentation

1. Enjeu : choix du pas de temps
2. Méthode
3. Résultats : effet du pas de temps
 - Performance du système de stockage
 - Vieillessement en cyclage
4. Conclusion

Statistiques d'écart à l'engagement



Stats de P_{dev} : effet *modéré à faible*.

5 s \rightarrow 10 min :

- MAE : -1 %
- RMSE : -6 %

5 s \rightarrow 1 h :

- MAE : -5 %
- RMSE : -25 %

Vieillessement en cyclage

Durée de vie estimée pour cette application :

- 4.8 ans (EE : énergie échangée)
- 6.8 ans (RF : Rainflow + pénalisation $f(DoD)$)

Vieillessement en cyclage

Durée de vie estimée pour cette application :

- 4.8 ans (EE : énergie échangée)
- 6.8 ans (RF : Rainflow + pénalisation $f(DoD)$)

Effet du pas de temps :

5 s → 10 min :

- EE : +6 % → 5.1 ans
- RF : +2 % → 6.9 ans

5 s → 1 h :

- EE : +23 % → 6.0 ans
- RF : +12 % → 7.6

Effet de l'agrégation (moyennage) des données

surévaluation *modérée à faible* de la durée de vie

Et pourtant les micro cycles. . .

Changements de signes de P_{sto} : **effet énorme !**

- pas 5 s : 585 /jour
- pas 10 min : 25 /jour
- pas 1 h : 11 /jour

Et pourtant les micro cycles. . .

Changements de signes de P_{sto} : **effet énorme !**

- pas 5 s : 585 /jour
- pas 10 min : 25 /jour
- pas 1 h : 11 /jour

Cependant, les cycles disparus sont des micro cycles ($DoD < 5\%$) qui sont très peu pénalisés par la courbe constructeur Li-ion NCA SAFT.

Et pourtant les micro cycles. . .

Changements de signes de P_{sto} : **effet énorme !**

- pas 5 s : 585 /jour
- pas 10 min : 25 /jour
- pas 1 h : 11 /jour

Cependant, les cycles disparus sont des micro cycles ($DoD < 5\%$) qui sont très peu pénalisés par la courbe constructeur Li-ion NCA SAFT.

Question ouverte : quelle confiance dans les données de micro cyclage ?

Plan de la présentation

1. Enjeu : choix du pas de temps
2. Méthode
3. Résultats : effet du pas de temps
4. Conclusion
 - Choix du pas de temps
 - Généralisation et perspectives

Conclusion : choix du pas de temps

sur notre exemple de système éolien-stockage

Le pas de temps de 10 min (couramment choisi), donne des résultats très proches de ceux obtenus avec un pas très fin.

Résultat valable :

- pour la plupart des statistiques utiles au dimensionnement (écarts RMS et MA).
- y compris la durée de vie en cyclage (étonnamment ?)
- cependant le micro cyclage est totalement masqué.

Généralisation à d'autres systèmes

La question de la généralisation reste ouverte.

→ Applications où un stockage doit garantir une production EnR sur des horizons plus longs (typiquement $J+1$), l'effet du pas de temps devrait être encore plus faible.

→ Par contre, un cas plus dépendant des fluctuations rapides comme le "lissage de rampe" pourrait être plus sensible.

Perspective

Dans des applications :

- qui dépendent des fluctuations haute fréquence,
- mais où l'on n'a que des données basse fréquence,

on pourrait essayer de **synthétiser un bruit haute fréquence** ?

$$P_{HF}^{synth} = P_{BF}^{data} + b_{HF}^{synth}$$

→ *question du réalisme statistique du résultat obtenu...*