

Quelle importance du choix de la loi de gestion pour dimensionner un système de stockage d'énergie ?

Pierre Haessig, Bernard Multon, Hamid Ben Ahmed, Stéphane
Lascaud

EDF R&D LME, ENS Rennes SATIE
pierre.haessig@ens-rennes.fr

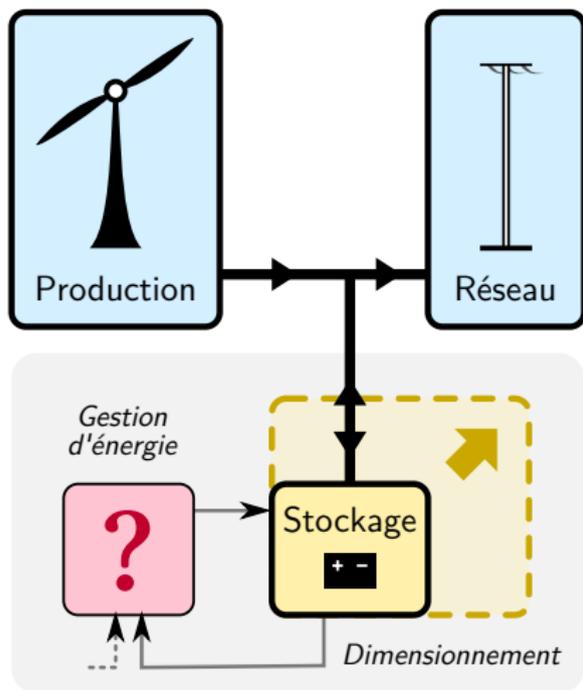
SGE, Cachan, 10 juillet 2014

Plan de la présentation

1. Contexte
2. Démarche
3. Résultats

Dimensionnement & gestion d'un système

contexte éolien-stockage



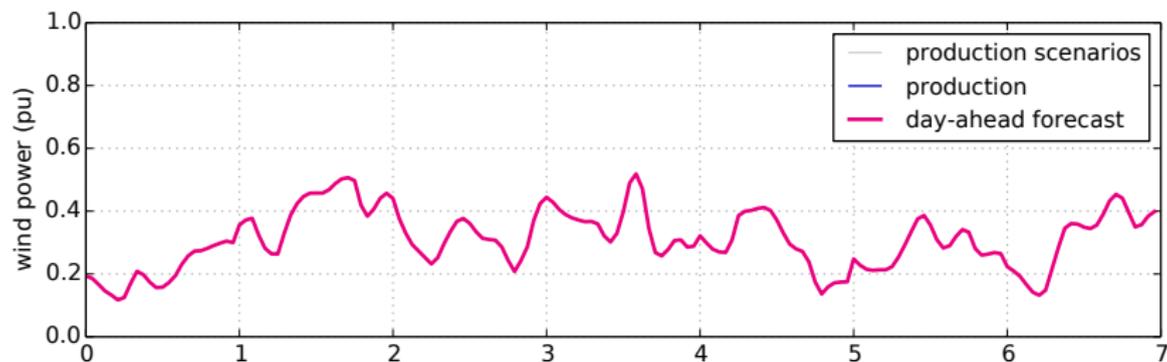
Dimensionnement & gestion
d'un système de stockage
(pour atténuer la variabilité de
production éolienne)

Nature du problème
d'optimisation :

- entrée incertaines →
optimisations **stochastiques**
(minisation de coûts *en*
espérance)
- 2 optimisations **couplées**

Entrées incertaines

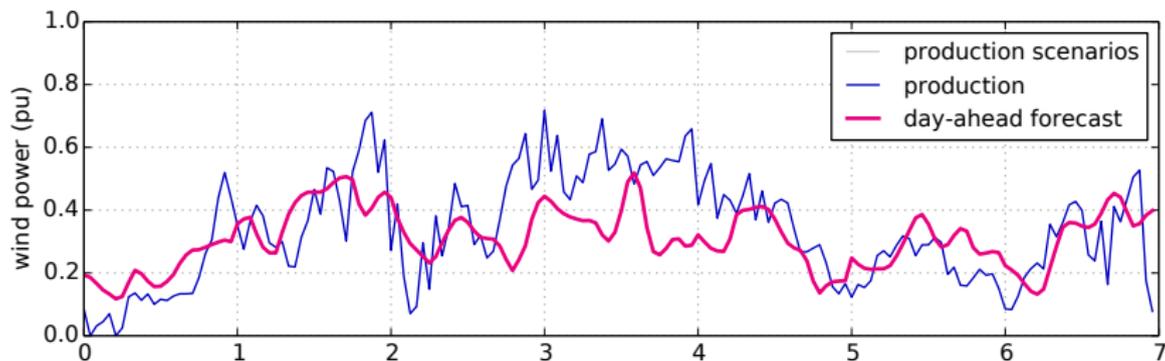
Exemple d'entrée incertaine dans un contexte éolien (ferme en Guadeloupe)



Production éolienne *prévue* la veille

Entrées incertaines

Exemple d'entrée incertaine dans un contexte éolien (ferme en Guadeloupe)



Production éolienne *réalisée* le lendemain

Dimensionnement & gestion d'un système

autres contextes

De nombreux systèmes **avec entrées incertaines** nécessitent un dimensionnement et une gestion d'énergie

Exemples avec stockage :

- micro-réseau avec EnR-stockage : incertitudes de production et de consommation
- véhicule hybride : incertitude sur le profil de mission

Exemples sans stockage :

- micro-réseau avec EnR
- récupération de l'énergie des vagues par un système oscillant : incertitude sur les sollicitations à venir

Cooptimisation

La cooptimisation du *dimensionnement* d'un stockage et de la *gestion* de son énergie est un **impératif théorique**...

Solution typique : l'optimisation *imbriquée*

- pour *chaque* dimensionnement,
- optimiser la gestion

Cooptimisation

La cooptimisation du *dimensionnement* d'un stockage et de la *gestion* de son énergie est un **impératif théorique**...

Solution typique : l'optimisation *imbriquée*

- pour *chaque* dimensionnement,
- optimiser la gestion

...mais une **quasi-impossibilité pratique** :

la gestion optimale stochastique (par programmation dynamique stochastique SDP) est très coûteuse (en temps de cerveau & de temps calcul)

Cooptimisation

La cooptimisation du *dimensionnement* d'un stockage et de la *gestion* de son énergie est un **impératif théorique**...

Solution typique : l'optimisation *imbriquée*

- pour *chaque* dimensionnement,
- optimiser la gestion

...mais une **quasi-impossibilité pratique** :

la gestion optimale stochastique (par programmation dynamique stochastique SDP) est très coûteuse (en temps de cerveau & de temps calcul)

Conséquence : le dimensionnement se fait souvent avec une *gestion simplifiée* (non SDP).

Gestion simplifiée pour le dimensionnement

petit panorama des alternatives à la SDP

Au lieu de l'optimisation dynamique stochastique, on peut utiliser :

1. une **gestion empirique** (sous optimale) : très large choix parmi beaucoup de familles différentes :
 - règles heuristiques simples
 - heuristique optimisée : contrôleur flou, réseau de neurones, ...
 - Model Predictive Control (MPC)
- *Non anticipatives*, donc utilisables en ligne (comme SDP).

Gestion simplifiée pour le dimensionnement

petit panorama des alternatives à la SDP

Au lieu de l'optimisation dynamique stochastique, on peut utiliser :

1. une **gestion empirique** (sous optimale) : très large choix parmi beaucoup de familles différentes :
 - règles heuristiques simples
 - heuristique optimisée : contrôleur flou, réseau de neurones, ...
 - Model Predictive Control (MPC)→ *Non anticipatives*, donc utilisables en ligne (comme SDP).
2. l'**optimisation dynamique déterministe** (hors-ligne)
par exemple par *programmation dynamique*, ou programmation linéaire/quadratique si applicable.
→ *Anticipative*, donc *surestime la performance*.

Problématique

Du point de vue *théorique*, la non-utilisation de la gestion optimale stochastique (SDP) entraîne un *dimensionnement "dégradé"*.
Mais qu'en est il du point de vue *pratique et quantitatif*?

Quelle est la sensibilité du dimensionnement
du système de stockage
au choix de la loi de gestion ?

- sensibilité sur le dimensionnement
- sensibilité sur le critère de dimensionnement (coût, performance, ...)

Problématique

Du point de vue *théorique*, la non-utilisation de la gestion optimale stochastique (SDP) entraîne un *dimensionnement "dégradé"*.
Mais qu'en est il du point de vue *pratique et quantitatif*?

Quelle est la sensibilité du dimensionnement
du système de stockage
au choix de la loi de gestion ?

- sensibilité sur le dimensionnement
- sensibilité sur le critère de dimensionnement
(coût, performance, ...)

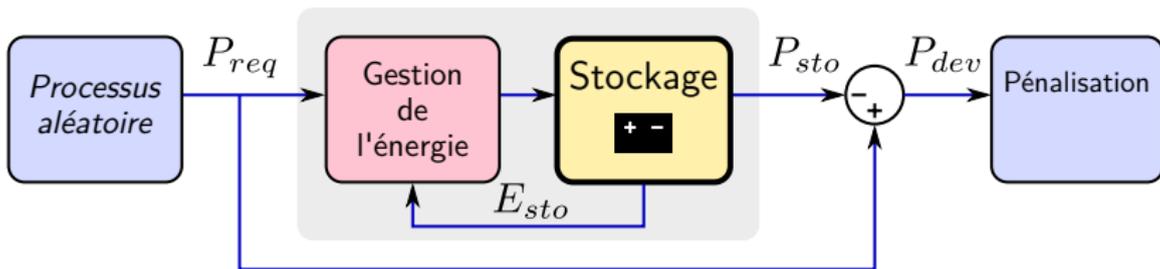
→ (*tentative de*) réponse à l'aide de l'exemple
d'un système de stockage (très) simple

Plan de la présentation

1. Contexte
2. Démarche
 - Système et cadre étudié
 - Évaluation de la performance
3. Résultats

Système étudié

Stockage “abstrait”, avec sollicitation stochastique P_{req} :



Dynamique de l'énergie : $E(k+1) = E(k) + P_{sto}(k)\Delta_t$

avec contraintes de capacité : $0 \leq E(k) \leq E_{rated}$

→ capacité E_{rated} à dimensionner

Écart :

$$P_{dev} = P_{req} - P_{sto}$$

qui est pénalisé en moyenne quadratique : $\|P_{dev}\|^2$

Procédure de dimensionnement

une optimisation dégradée “en deux temps”

La procédure de dimensionnement dégradé considérée se base une optimisation “en deux temps” :

1. **Dimensionnement du système**, contrôlé par la loi de gestion “*de dimensionnement*” choisie.
(ex : gestion empirique, optim. stochastique, ou optim. déterministe)

Procédure de dimensionnement

une optimisation dégradée “en deux temps”

La procédure de dimensionnement dégradé considérée se base une optimisation “en deux temps” :

1. **Dimensionnement du système**, contrôlé par la loi de gestion “*de dimensionnement*” choisie.
(ex : gestion empirique, optim. stochastique, ou optim. déterministe)
2. **Optimisation de la performance**, à dimensionnement *fixé*, en remplaçant la loi de gestion choisie pour le dimensionnement par la loi de gestion *optimale* (SDP).

Méthode de calcul

Méthode d'estimation de la performance :

Pour une sollicitation d'entrée P_{req} d'écart-type 1 MW à pas d'une heure ($\Delta_t = 1$ h), nous effectuons des **simulations temporelles** d'une durée de 60 jours.

Elles sont répétées $50\times$ pour estimer la performance moyenne : $\|P_{dev}\|$, écart-type de la sortie (attendu plus petit que 1 MW).

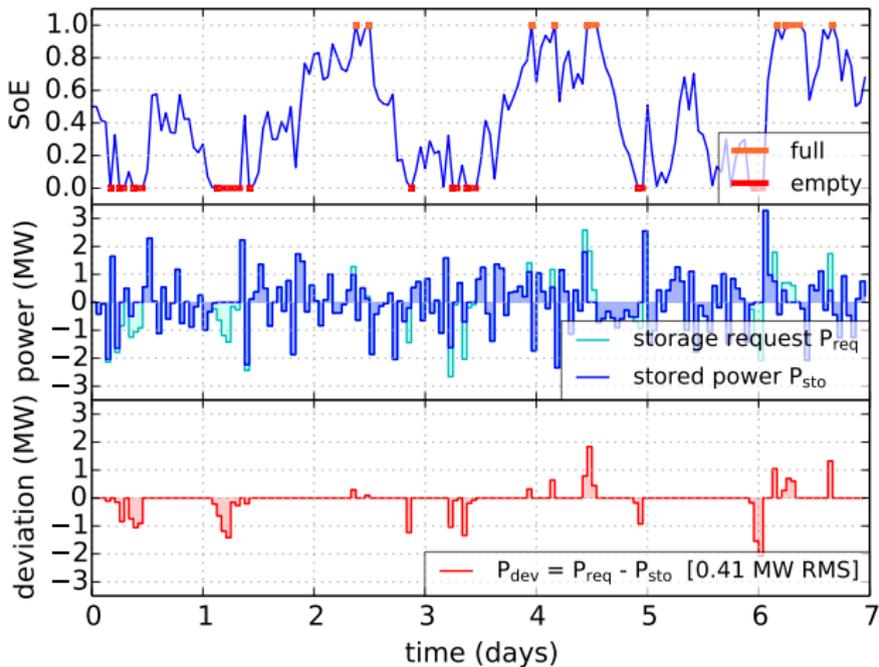
Conditions de l'études :

- Calcul réalisé pour chacune des trois lois de gestion étudiées
- Plage de dimensionnement : $E_{rated} = 0 - 10$ MWh.

→ *Observons des extraits des simulations temporelles pour chacune des trois lois de gestion étudiées.*

Simulations temporelles

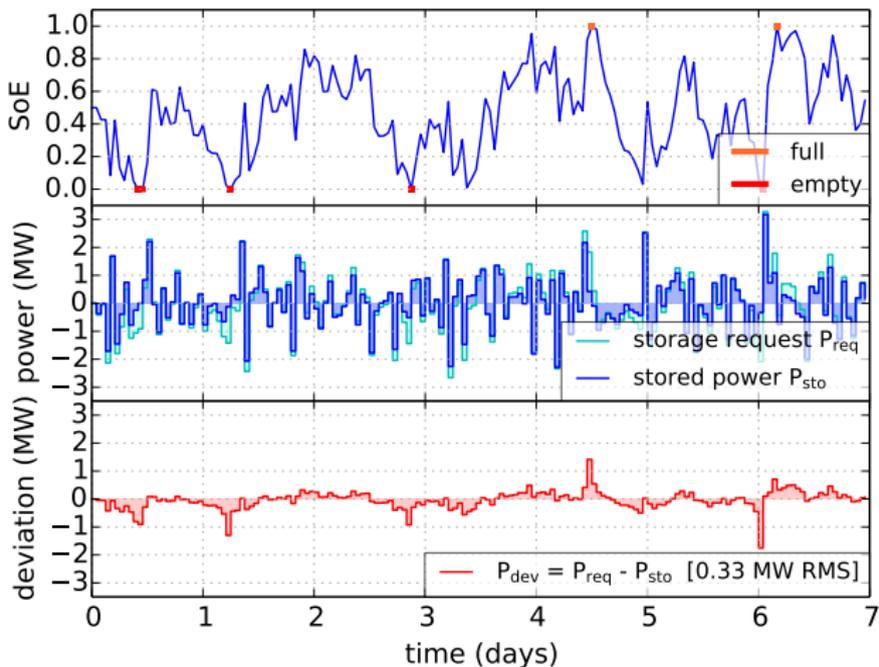
Gestion empirique



Gestion empirique " $P_{sto} = P_{req}$ tant que possible"

Simulations temporelles

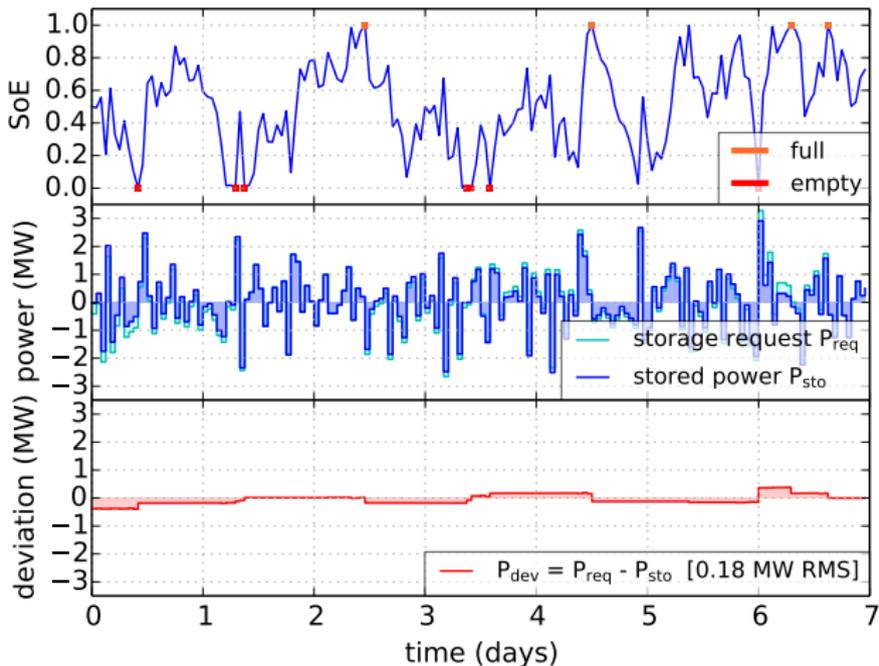
Gestion optimale stochastique (SDP)



Loi de contrôle optimale : $P_{sto} = \mu^*(E_{sto}, P_{req})$

Simulations temporelles

Optimisation déterministe



Optimisation hors-ligne, connaissant toute les sollicitations $P_{req}(k)$

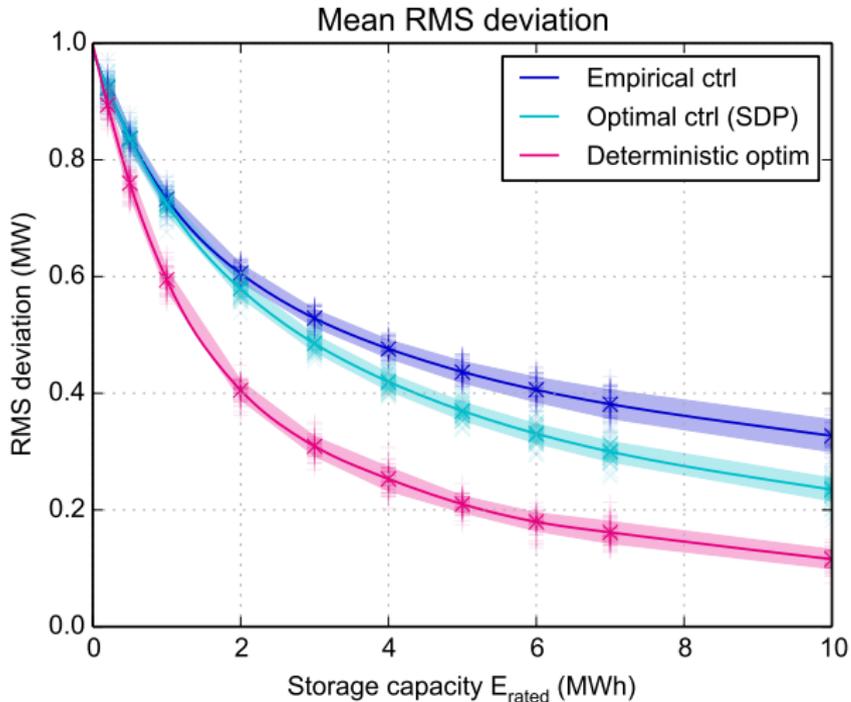
Performance fonction du dimensionnement

À partir de ces simulations temporelles, on évalue la performance du système :

- pour chacune des trois lois de gestion étudiées,
- et pour plusieurs dimensionnements : $E_{rated} = 0 - 10$ MWh.

Performance fonction du dimensionnement

Effet de la capacité et de la loi de gestion



Constats :

1. L'écart diminue avec la capacité (attendu)
2. gestion *SDP* meilleure que *empirique*
3. *optim. déterministe* (artificiellement) meilleure que *SDP* et *empirique*

Plan de la présentation

1. Contexte

2. Démarche

3. Résultats

- Dimensionnement basé sur une contrainte
- Dimensionnement par optimisation d'un coût total
- Conclusion

Dimensionnement basé sur une contrainte

Le critère de dimensionnement pour cette procédure est une limite sur la moyenne quadratique (RMS) de l'écart P_{dev} .

La capacité choisie est la plus petite vérifiant cette condition :

minimiser

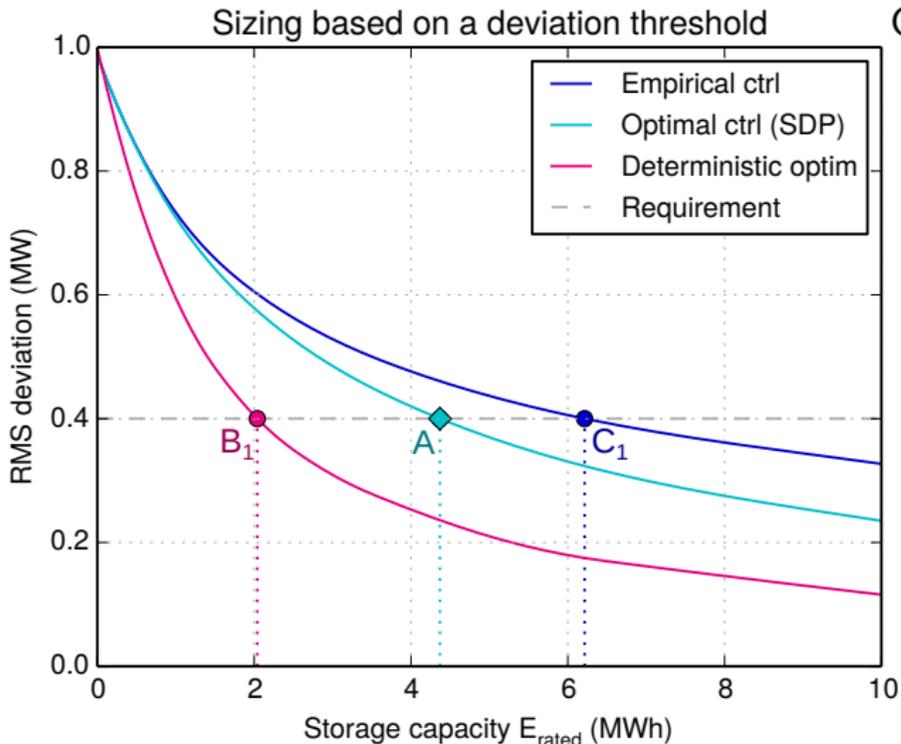
E_{rated}

tel que

$\|P_{dev}\|(E_{rated}) < \text{seuil}$

Dimensionnement basé sur une contrainte

Exemple pour un seuil à 0,4 MW

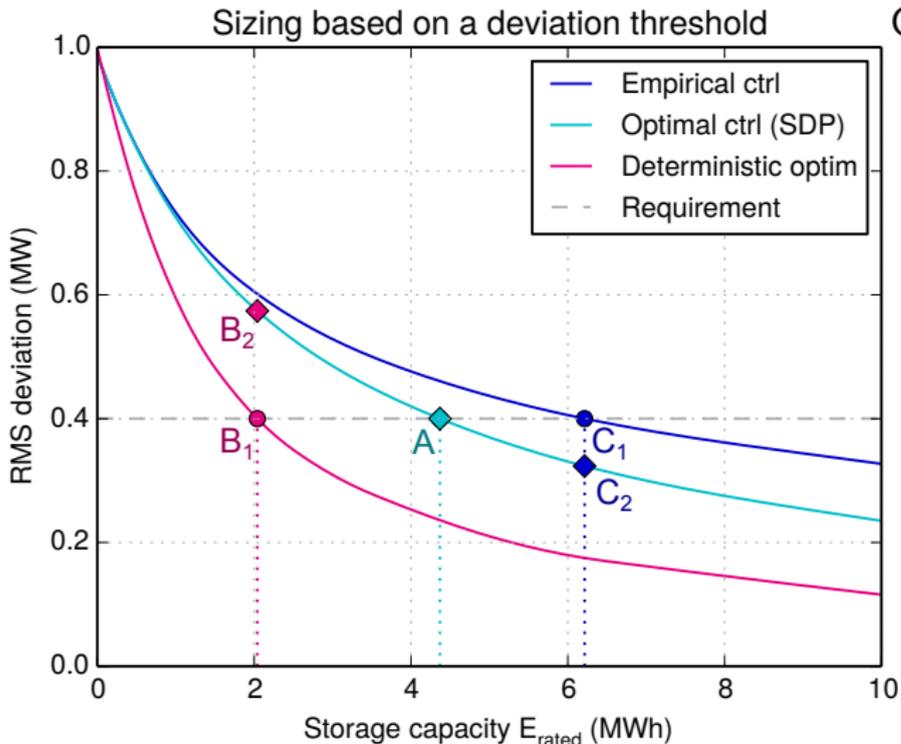


Constats :

1. Résultats très **sensibles** au choix de la loi de gestion de dimensionnement

Dimensionnement basé sur une contrainte

Exemple pour un seuil à 0,4 MW



Constats :

1. Résultats **très sensibles** au choix de la loi de gestion de dimensionnement
2. gestion *empirique* → sur-dimensionnement, sur-performance (0,32 MW).
3. *optim. déterministe* → sous-dimensionnement, sous-performance (0,57 MW).

Dimensionnement par optimisation d'un coût total

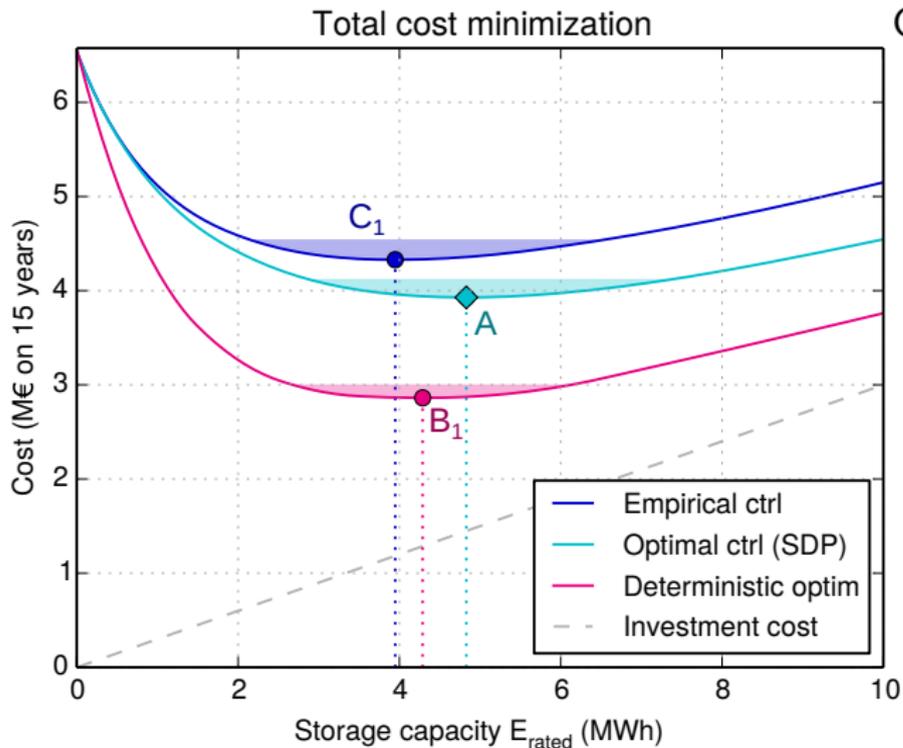
Le critère de dimensionnement pour cette procédure considère un coût total où s'additionnent :

- le coût d'investissement du stockage $c_{batt} E_{rated}$.
(choix : $c_{batt} = 300$ k€/MWh, environ le prix d'une batterie Sodium-Soufre, hors surcoûts)
- une pénalité proportionnelle à l'écart RMS, calculée sur la vie du système, $c_{dev} \|P_{dev}\| t_{life}$, avec $c_{dev} = 50$ €/MWh et $t_{life} = 15$ ans.

Le critère à minimiser est donc :

$$C_{tot}(E_{rated}) = c_{batt} E_{rated} + c_{dev} \|P_{dev}\| (E_{rated}) t_{life}$$

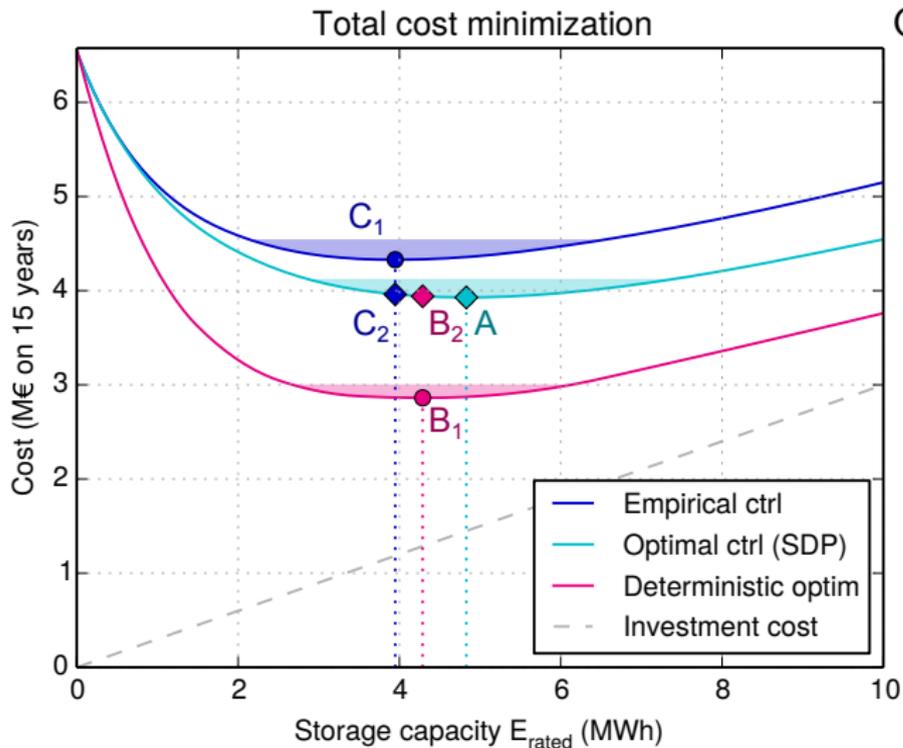
Dimensionnement par optimisation d'un coût total



Constats :

1. Résultats **peu sensibles** au choix de la loi de gestion de dimensionnement
2. dimensionnements proches à 20 % près (4,0 – 4,8 MWh)

Dimensionnement par optimisation d'un coût total



Constats :

1. Résultats **peu sensibles** au choix de la loi de gestion de dimensionnement
2. dimensionnements proches à 20 % près (4,0 – 4,8 MWh)
3. performances indiscernables : coût total = 3,9 M€/15 ans.

Conclusion et pistes d'améliorations

Effet du choix de loi de gestion : **“ça dépend !”**

- forte sensibilité pour un dimensionnement basé sur une contrainte de performance
- faible sensibilité pour un dimensionnement basé sur la minisation d'un coût total du système

Conclusion et pistes d'améliorations

Effet du choix de loi de gestion : **“ça dépend !”**

- forte sensibilité pour un dimensionnement basé sur une contrainte de performance
- faible sensibilité pour un dimensionnement basé sur la minisation d'un coût total du système

Limites de l'étude :

- Un système-exemple très simplifié, très abstrait
- quelle **généralisation** pour un autre système, un autre contexte ? (ex : pénalisation différente des écarts, entrée autocorrélée, . . .)

Conseil à ramener à la maison

(proposition subjective, ouverte à discussion)

Choix de la loi de gestion

Quelle loi de gestion utiliser pour le dimensionnement ?
(pour des systèmes avec entrées incertaines)

Candidats :

Conseil à ramener à la maison

(proposition subjective, ouverte à discussion)

Choix de la loi de gestion

Quelle loi de gestion utiliser pour le dimensionnement ?
(pour des systèmes avec entrées incertaines)

Candidats :

- optim. déterministe hors-ligne : **dangereuse, car elle surestime la performance** (et aussi : assez coûteuse en calcul)

Conseil à ramener à la maison

(proposition subjective, ouverte à discussion)

Choix de la loi de gestion

Quelle loi de gestion utiliser pour le dimensionnement ?
(pour des systèmes avec entrées incertaines)

Candidats :

- optim. déterministe hors-ligne : **dangereuse, car elle surestime la performance** (et aussi : assez coûteuse en calcul)
- gestion empirique : conservative, mais facile et sûre

Conseil à ramener à la maison

(proposition subjective, ouverte à discussion)

Choix de la loi de gestion

Quelle loi de gestion utiliser pour le dimensionnement ?
(pour des systèmes avec entrées incertaines)

Candidats :

- optim. déterministe hors-ligne : **dangereuse, car elle surestime la performance** (et aussi : assez coûteuse en calcul)
- gestion empirique : conservative, mais facile et sûre
- optimisation dynamique stochastique (SDP) : parfait... mais rarement applicable !

Conseil à ramener à la maison

(proposition subjective, ouverte à discussion)

Choix de la loi de gestion

Quelle loi de gestion utiliser pour le dimensionnement ?
(pour des systèmes avec entrées incertaines)

Candidats :

- optim. déterministe hors-ligne : **dangereuse, car elle surestime la performance** (et aussi : assez coûteuse en calcul)
- gestion empirique : conservative, mais facile et sûre
- optimisation dynamique stochastique (SDP) : parfait. . .
mais rarement applicable !
- gestion empirique optimisée : **le bon compromis ?**
(mais famille très/trop large)
ex : loi de gestion paramétrique, de forme inspirée par la SDP