

# Solar home 2020 : enrichissement du benchmark open source de gestion d'énergie avec entrées incertaines

Pierre HAESSIG, Jesse James PRINCE AGBODJAN,  
Romain BOURDAIS, Hervé GUÉGUEN

CentraleSupélec – IETR

SGE, Nantes, 6 juillet 2021

# Plan de la présentation

1. Introduction
2. Maison solaire
  - Modèle et objectif d'optimisation
  - Accès au banc de test open source
3. Méthodes de gestion d'énergie
4. Enjeux
5. Conclusion
  - Conclusion & Perspectives

# Plan de la présentation

1. Introduction

2. Maison solaire

3. Méthodes de gestion d'énergie

4. Enjeux

5. Conclusion

# Enjeu : démocratiser les méthodes de gestion d'énergie

Pour la gestion optimale des systèmes énergétiques :

- il existe de **nombreuses méthodes** : optimisation dynamique, stochastique, prédictive...
- avec chacune ses **difficultés** potentielles :
  - cadre théorique à apprendre (optimisation convexe...)
  - implémentation numérique non-triviale
  - temps de calcul long
  - ...sans garantie de résultats avant d'avoir essayé!

# Enjeu : démocratiser les méthodes de gestion d'énergie

Pour la gestion optimale des systèmes énergétiques :

- il existe de **nombreuses méthodes** : optimisation dynamique, stochastique, prédictive...
- avec chacune ses **difficultés** potentielles :
  - cadre théorique à apprendre (optimisation convexe...)
  - implémentation numérique non-triviale
  - temps de calcul long
  - ...sans garantie de résultats avant d'avoir essayé!

Le cumul de ces difficultés (e.g. pour les méthodes a priori les plus performantes) peut rebuter les novices.

→ choix d'une méthode par défaut, basé sur des préjugés.

# Enjeu : démocratiser les méthodes de gestion d'énergie

Pour la gestion optimale des systèmes énergétiques :

- il existe de **nombreuses méthodes** : optimisation dynamique, stochastique, prédictive...
- avec chacune ses **difficultés** potentielles :
  - cadre théorique à apprendre (optimisation convexe...)
  - implémentation numérique non-triviale
  - temps de calcul long
  - ...sans garantie de résultats avant d'avoir essayé!

Le cumul de ces difficultés (e.g. pour les méthodes a priori les plus performantes) peut rebuter les novices.

→ choix d'une méthode par défaut, basé sur des préjugés.

## Notre proposition

Un banc de test open source pour faciliter la comparaison objective, multi-facette, des méthodes de gestion d'énergie.

# Plan de la présentation

1. Introduction

2. Maison solaire

- Modèle et objectif d'optimisation
- Accès au banc de test open source

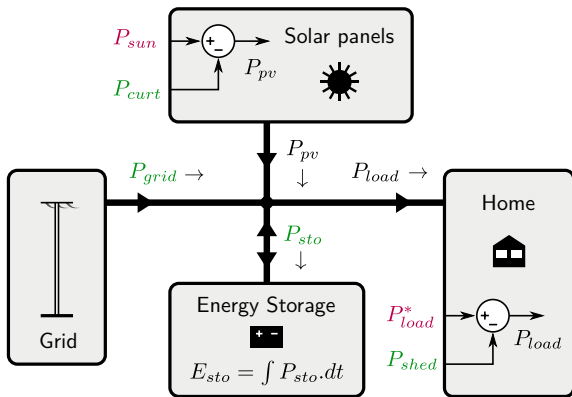
3. Méthodes de gestion d'énergie

4. Enjeux

5. Conclusion

# Modèle de la maison solaire : flux d'énergie

*“un exemple simple et représentatif de problème de gestion d'énergie avec incertitude”*

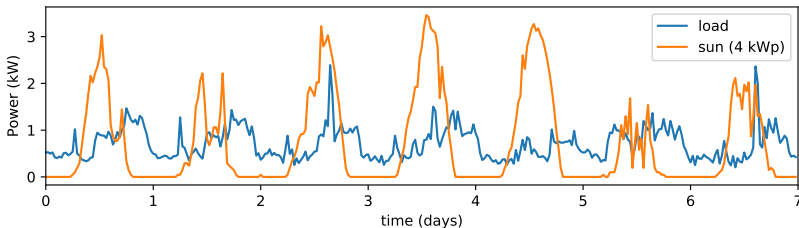


- Alimentation :
  - Panneaux PV 4 kW<sub>c</sub>
  - Réseau
- Charge non flexible (17 kWh/jour) (mais délestable si nécessaire)
- Batterie 8 kWh pour la flexibilité



## Données d'entrées (solaire et charge)

Les données d'entrées incertaines ( $P_{sun}$ ,  $P_{load}$ ) proviennent d'un jeu de **données réelles** (opérateur Ausgrid, Sidney, Australie)



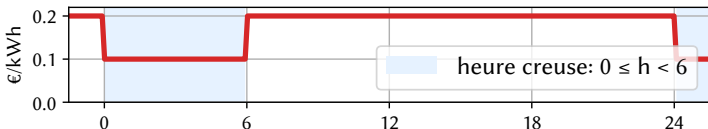
- Pas de temps : 30 min
- Période de test : 30 jours consécutifs (30 oct. → 28 nov. 2011)
- Période d'entraînement (learning) : 30 jours précédents

# Objectif de pilotage de la maison solaire

Objectif d'optimisation : **minimiser la facture** d'électricité :

$$C_{grid} = \sum_{k=1}^n c_{grid}(k) P_{grid}(k)$$

Le prix dépend de l'heure du jour (heure pleine/heure creuse)  
avec un écart jour/nuit vraiment incitatif :



→ intérêt de la batterie pour déplacer la consommation soit en heure creuse, soit en période de production solaire.

# Formalisation et règle du jeu

Coût : cumul d'une fonction coût instantané  $c$

$$J = \mathbb{E}\left[\sum_{k=1}^n c_k(x_k, u_k, w_k)\right]$$

Dynamique du système (e.g. état d'énergie) :

$$x_{k+1} = f(x_k, u_k, w_k)$$

# Formalisation et règle du jeu

Coût : cumul d'une fonction coût instantané  $c$

$$J = \mathbb{E}\left[\sum_{k=1}^n c_k(x_k, u_k, w_k)\right]$$

Dynamique du système (e.g. état d'énergie) :

$$x_{k+1} = f(x_k, u_k, w_k)$$

On cherche la meilleure stratégie de commande :

$$\mu_k : (x_k, \dots) \mapsto u_k$$

## Règle du jeu : **non-anticipativité**

À l'instant de décision  $k$ , seules les valeurs passées et présentes de  $P_{load}$  et  $P_{sun}$  sont connues.

# Accès au banc de test open source : GitHub

Accès libre et gratuit dans un dépôt GitHub qui inclut :

- l'extrait des données Ausgrid nécessaires ( $P_{sun}$ ,  $P_{load}$ )
- l'implémentation des lois de gestion présentées ici (en Python, Matlab ou Julia)

The screenshot shows the GitHub repository page for 'solarhome-control-bench' by pierre-haessig. The repository has 39 commits, 1 branch, 0 releases, and 1 contributor. The current branch is 'master'. A table of recent commits is visible, with the most recent one being 'make hd export of solar home diagram' by pierre-haessig, committed a month ago. A 'Clone or download' button is visible, with a dropdown menu showing 'Clone with HTTPS' and a 'Download ZIP' button.

Commit	Author	Message	Time
comparison	pierre-haessig	fix spaces in README links	4 months ago
data	pierre-haessig	modify bootstrapped data to be from 30 days instead of 33	4 months ago
images	pierre-haessig	make hd export of solar home diagram	a month ago
methods	pierre-haessig	upgrade Matlab utils and the rule-based control example	3 months ago
modeling	pierre-haessig	add cross-validated mean patterns	3 months ago
utils	pierre-haessig	upgrade Matlab utils and the rule-based control example	a month ago

<https://github.com/pierre-haessig/solarhome-control-bench>

# Plan de la présentation

1. Introduction

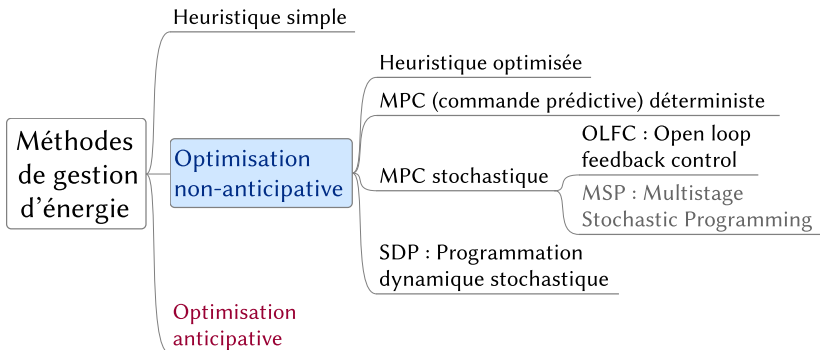
2. Maison solaire

3. Méthodes de gestion d'énergie

4. Enjeux

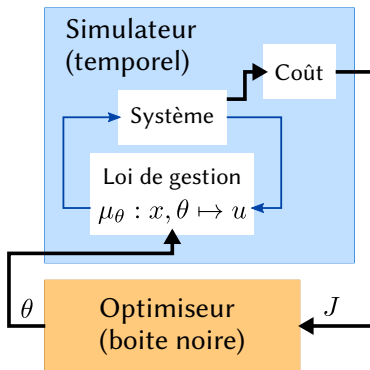
5. Conclusion

# Les méthodes



# Heuristique optimisée

Approche “*Si ça simule, c’est optimisable*” (param.  $\theta$  à optimiser).



Pas de formalisme mathématique “dur”,  
mais nécessite une bonne expérience/inspiration.



# Commande prédictive (déterministe ou stochastique)

Idée : troncature du coût, réoptimisé *en-ligne* à chaque instant :

$$J_{MPC}(k) = \sum_{i=k}^{k+H} \tilde{c}(x_i, u_i, \hat{w}_i)$$

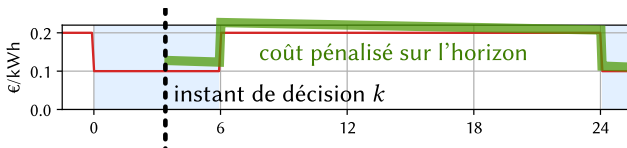
- Incertain remplacé par une prévision  $\hat{w}$

# Commande prédictive (déterministe ou stochastique)

Idée : troncature du coût, réoptimisé *en-ligne* à chaque instant :

$$J_{MPC}(k) = \sum_{i=k}^{k+H} \tilde{c}(x_i, u_i, \hat{w}_i)$$

- Incertain remplacé par une prévision  $\hat{w}$
- Astuce importante : petite pénalisation  $\tilde{c} = c + \varepsilon \times \text{penal}$ 
  - heuristique pour retarder l'appel au réseau

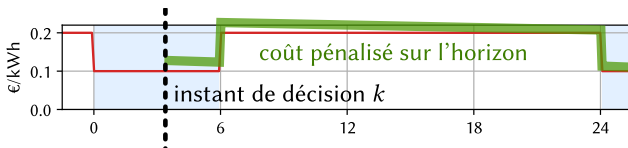


# Commande prédictive (déterministe ou stochastique)

Idée : troncature du coût, réoptimisé *en-ligne* à chaque instant :

$$J_{MPC}(k) = \sum_{i=k}^{k+H} \tilde{c}(x_i, u_i, \hat{w}_i)$$

- Incertain remplacé par une prévision  $\hat{w}$
- Astuce importante : petite pénalisation  $\tilde{c} = c + \varepsilon \times penal$ 
  - heuristique pour retarder l'appel au réseau
- Déclination stochastique :  
attention, pas de formulation unique  $\rightarrow$  OLFC, MSP

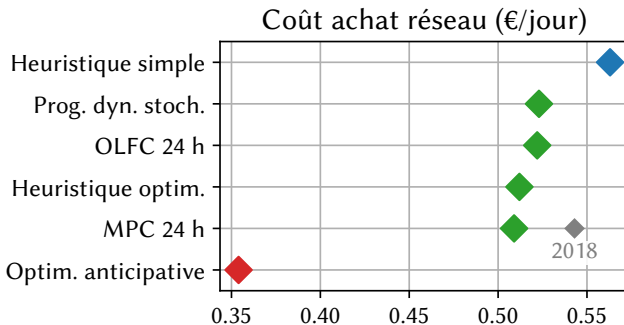


# Programmation dynamique

## Décomposition temporelle

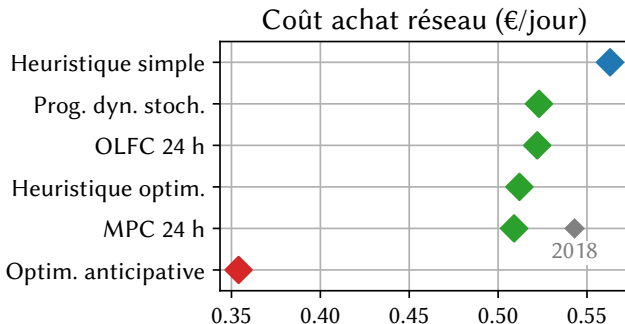
- Décomposition temporelle : pas de limite sur l'horizon temporel ( $n \rightarrow \infty$ )
- Limite dimension vecteur d'état  $\dim(x) \leq 4$  ou 5

# Résultats : performance des méthodes



- Méthode “optimales” : très proches
- Optimisation anticipative : très en dessous  
→ intérêt économique d’une prévision

# Résultats : performance des méthodes



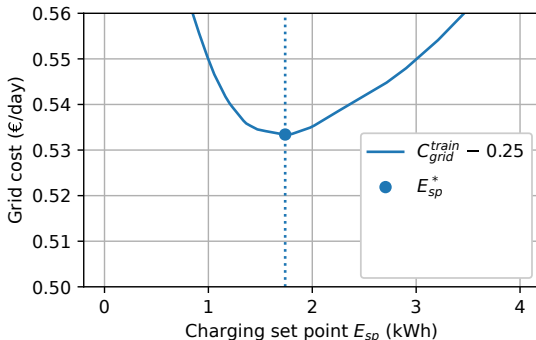
- Méthode “optimales” : très proches
- Optimisation anticipative : très en dessous  
→ intérêt économique d’une prévision
- Différence entre méthodes “optimales” : non significative?  
(variabilité des résultats due aux 30 j du scénario d’entrée)

# Plan de la présentation

1. Introduction
2. Maison solaire
3. Méthodes de gestion d'énergie
- 4. Enjeux**
5. Conclusion

# Éviter le surapprentissage (overfitting)

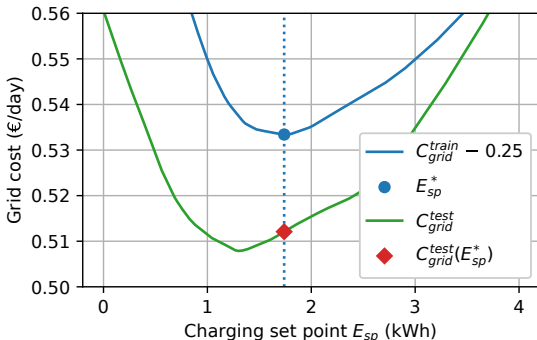
Gestion heuristique optimisée : réglage du paramètre  $\theta = E_{sp}$





# Éviter le surapprentissage (overfitting)

Gestion heuristique optimisée : réglage du paramètre  $\theta = E_{sp}$

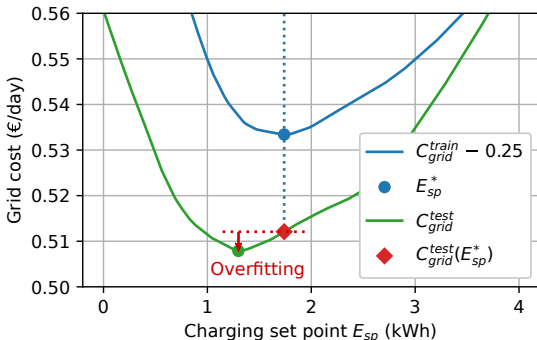


## Bonne pratique

Toute optimisation hors-ligne (prévision, réglage, prog. dyn.) doit se faire sur des **données d'entraînement**, pas sur les 30 j de test.

# Éviter le surapprentissage (overfitting)

Gestion heuristique optimisée : réglage du paramètre  $\theta = E_{sp}$

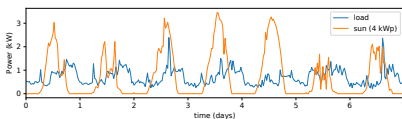


## Bonne pratique

Toute optimisation hors-ligne (prévision, réglage, prog. dyn.) doit se faire sur des **données d'entraînement**, pas sur les 30 j de test.

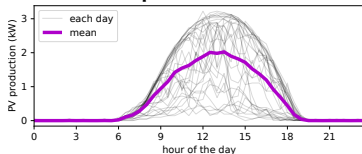
# Modélisation de l'incertain

## Données historiques



→ Heuristique optimisée

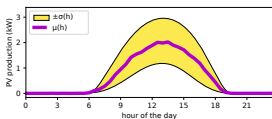
## Prévision ponctuelle / ensembles



→ Commande prédictive déterministe (MPC),  
MPC stochastique OLFC

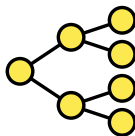
## Process Markovien

$$P_{nl}(k+1) = \mu[h_{k+1}] + \sigma[h_{k+1}] \cdot w_k.$$



→ Programmation Dynamique Stochastique (SDP)

## Arbre de scénarios



L'arbre  
permet d'exprimer  
la non-anticipativité  
de la décision

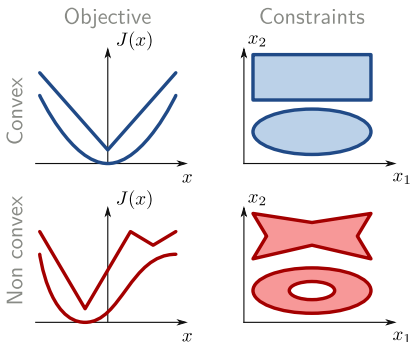
→ MPC stochastique  
Multistage Stochastic Programming (MSP)

Modéliser l'incertain peut être le travail le plus long pour mettre en oeuvre certaines méthodes (SDP, MSP)

# Convexité du problème

Convexité : coût  $c$  convexe et dynamique  $f$  linéaire(\*).

La convexité est-elle une nécessité?



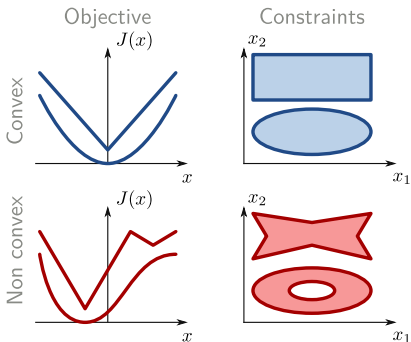
(\* ) modèle de batterie sans pertes!

# Convexité du problème

Convexité : coût  $c$  convexe et dynamique  $f$  linéaire(\*).

La convexité est-elle une nécessité?

Oui pour certaines méthodes, mais sans enjeu pour d'autres.



(\*) modèle de batterie sans pertes!

- MPC : très préférable (car optim. *en-ligne*)
- Prog. dyn. : pas nécessaire mais exploitable (SDDP)
- Heuristique optim. : pas un enjeu

# Plan de la présentation

1. Introduction
2. Maison solaire
3. Méthodes de gestion d'énergie
4. Enjeux
5. Conclusion
  - Conclusion & Perspectives

## Conclusion & Perspectives

- Un banc de simulation open source pour comparer des méthodes de gestion d'énergie
- Plusieurs méthodes de gestion face à l'incertain implémentées
  - Enjeux de mise en oeuvre très différent
  - Performance similaire (sur ce problème simple)
  - Problème de variabilité (dépendance au scénario d'entrée)

## Conclusion & Perspectives

- Un banc de simulation open source pour comparer des méthodes de gestion d'énergie
- Plusieurs méthodes de gestion face à l'incertain implémentées
  - Enjeux de mise en oeuvre très différent
  - Performance similaire (sur ce problème simple)
  - Problème de variabilité (dépendance au scénario d'entrée)

### Perspectives :

- Étude de la variabilité des résultats  
(ex : "bootstrap" de scénarios d'entrée)
- Implémenter des méthodes manquantes
  - MPC stochastique MSP (arbres de scénarios)
  - Reinforcement Learning  
(Programmation dynamique + Machine Learning)