

Co-optimisation d'un système collaboratif :  
centrale photovoltaïque et flotte de véhicules  
électriques  
Séminaire RiseGrid

Roman Le Goff Latimier  
Laboratoire SATIE, équipe SETE

[roman.legoff-latimier@ens-rennes.fr](mailto:roman.legoff-latimier@ens-rennes.fr)

15 janvier 2016

# Plusieurs acteurs perturbateurs dans les réseaux d'énergie

## Déplacement de l'incertitude et des moyens de pilotage

producteurs renouvelables

- éolien
- photovoltaïque

- véhicules électriques
- consommations domestiques pilotables
- ...

### vision mono-agent

s'insérer dans les réseaux existants  
en limitant les déséquilibres

### vision multi-agents

tirer parti des complémentarités  
entre ces agents pour améliorer la  
performance globale des systèmes  
d'énergie.

# Vers une gestion collaborative

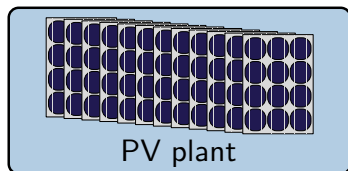
## sujet de thèse

collaboration entre

- des producteurs renouvelables
- des consommateurs pilotables

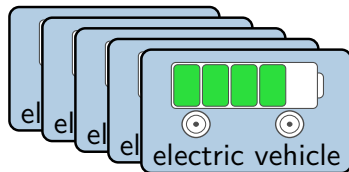
## Photovoltaïque

- production renouvelable
- mais peu prévisible



## Véhicules électriques

- unités de stockage largement disponibles
- mais présence aléatoire et augmentation de la demande totale en électricité

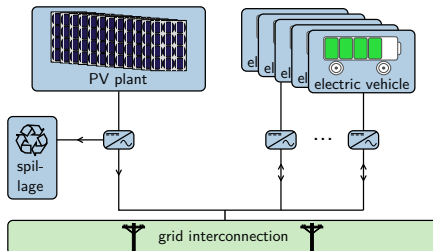


système collaboratif

# Système collaboratif local ou distribué ?

La gestion collaborative est possible

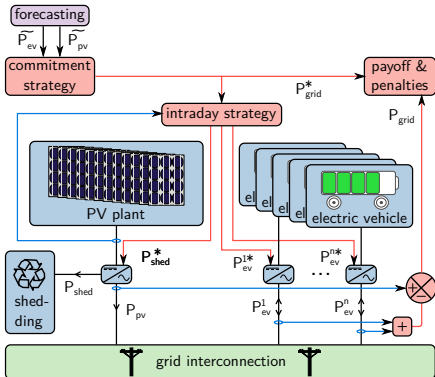
- **localement** : cas d'une ombrière photovoltaïque
- **ou à distance** : similarités avec centrales virtuelles responsable d'équilibre



# Engagement de production

## Amélioration de la prévisibilité de la production

Respect d'un engagement global sur l'ensemble du système



- nécessité de prévisions de production de comportement
- contrôle en temps réel en fonction des mesures et de la situation

# Plusieurs objectifs concourants au sein du système collaboratif

## L'utilisateur

- niveau de recharge à son départ :  $f_{mob}$
- usure supplémentaire causée à sa batterie :  $f_{age}$

## Le producteur photovoltaïque

- délestage de sa production (valorisation possible de cette énergie) :  $f_{shed}$

## Le gestionnaire réseau

- recharger les véhicules au moindre coût environnemental et financier :  $f_{charg}$
- minimiser l'écart à l'engagement sous peine de pénalités :  $f_{grid}$

# Plusieurs objectifs concourants au sein du système collaboratif

L'utilisateur

Le producteur photovoltaïque

Le gestionnaire réseau

Problème d'optimisation stochastique

$$\min_{P_{ev}^i(t), P_{shed}(t)} \sum_t \left\{ f_{grid} + f_{shed} + \sum_{vehicules} (f_{charg} + f_{age} + f_{mob}) \right\}$$

## Modèles de connaissance nécessaires

### Modélisation stochastique de l'erreur de prévision

Quelle est la fiabilité de la prévision et comment l'erreur peut elle se comporter ?

### Endommagement additionnel de la batterie

Quel est l'endommagement additionnel causé à la batterie ?

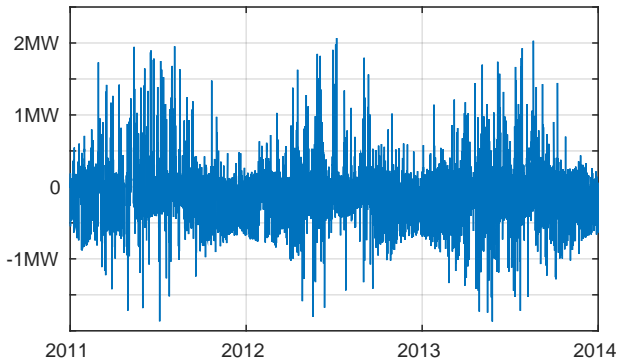
### Valeur du compromis entre les usages de la batterie

Comment pondérer entre eux les *valeurs* des différents usages de la batterie ?



# Modélisation stochastique de l'erreur de prévision

Centrale photovoltaïque de Castifao, Haute Corse, 2.64MW

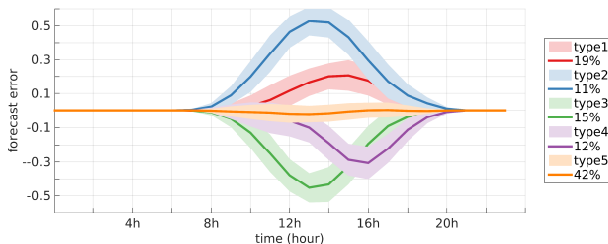


double saisonnalité journalière et annuelle

approche série temporelle peu satisfaisante :  $x(t) = \Phi \cdot x(t - \Delta T) + \varepsilon$

# Modélisation stochastique de l'erreur de prévision

## Identification de types de trajectoires

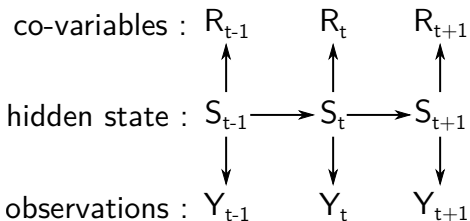


Introduction d'un état caché contenant le type de trajectoire

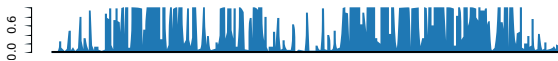
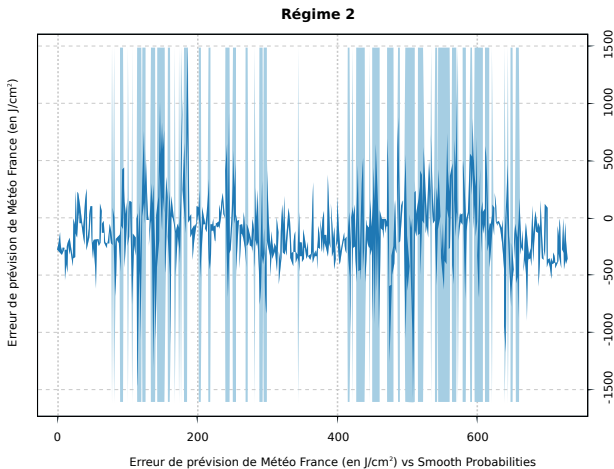
# Modélisation stochastique de l'erreur de prévision

## Identification de types de trajectoires

### Chaîne de Markov à état caché



# Modélisation stochastique de l'erreur de prévision



# Optimisation de la gestion des charges pilotables

## Problème d'optimisation

$$\min_{P_{ev}^i(t), P_{shed}(t)} \sum_t [f_{grid} + f_{shed} + \sum_{vehicules} (f_{charg} + f_{age} + f_{mob})]$$

## sous contraintes

état d'énergie :  $SoE_{ev}^i \in [0; 1]$

puissance de recharge :  $P_{ev}^i \in [P_{ev}^{ib}; P_{ev}^{i\#}]$

délestage :  $P_{shed} \in [0, P_{pv}]$

état d'énergie initial :  $SoE_{ev}^i(t_1) = SoE_{ev}^{i,0}$

comportement dynamique :  $f_{dyn}(SoE_{ev}^i, P_{ev}^i)$

dynamique, grande dimension, stochastique

# Optimisation de stratégies de gestion

## Stratégies de gestion

Calculer au préalable quelle est la meilleure décision plutôt que réaliser une optimisation à chaque pas de temps

## Programmation dynamique : cas de la recharge d'un véhicule

- vecteur d'état du problème  $X_{ev}$

$$X_{ev} = \begin{pmatrix} E_{ev} \\ SoE_{ev} \\ \tau \end{pmatrix}$$

- discrétisation de l'espace d'état :  $X_{ev} \in \mathbb{X}_{ev}$
- Quelle est la meilleure commande  $P_{ev}$  pour tout  $X_{ev} \in \mathbb{X}_{ev}$  ?

# Optimisation de stratégies de gestion

## Stratégies de gestion

Calculer au préalable quelle est la meilleure décision plutôt que réaliser une optimisation à chaque pas de temps

## Programmation dynamique : cas de la recharge d'un véhicule

$$\text{coût final } V_{ev}(\tau = 0, E_{ev}, SoE_{ev}) = f_{mob}(SoE_{ev})$$

$$\forall \tau > 0, \forall E_{ev}, \forall SoE_{ev},$$

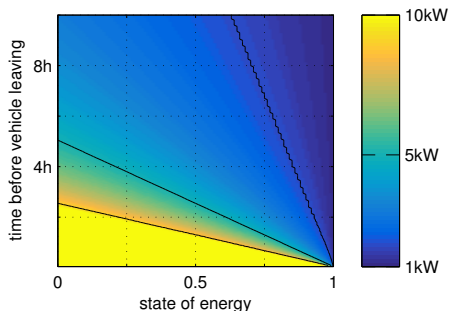
$$V_{ev}(\tau, E_{ev}, SoE_{ev}) = \min_{P_{ev}} f_{age}(P_{ev}) + V_{ev}(\tau - \Delta T, f_{dyn}(E_{ev}, SoE_{ev}, P_{ev}))$$

# Optimisation de stratégies de gestion

## Programmation dynamique : cas de la recharge d'un véhicule

stratégie décrivant la puissance de recharge optimale pour

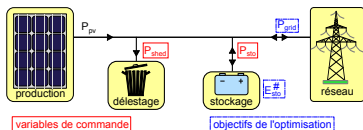
- toute capacité  $E_{ev}$
- tout état de charge  $SoE_{ev}$
- toute durée avant le départ  $\tau$





# Optimisation de stratégies de gestion

Programmation dynamique : cas de la gestion d'un stockage fixe



vecteur d'état :  $X_{sto} = \begin{pmatrix} E_{sto} \\ SoE_{sto} \\ \Delta P_{pv} \end{pmatrix}$

commande :  $U_{sto} = \begin{pmatrix} P_{sto} \\ P_{shed} \end{pmatrix}$

# Optimisation de stratégies de gestion

## Programmation dynamique : cas de la gestion d'un stockage fixe

- pas de coût final

$$V_{sto}(\text{midnight}, X) = 0$$

- $\forall t < \text{midnight}, \forall X_{sto}$

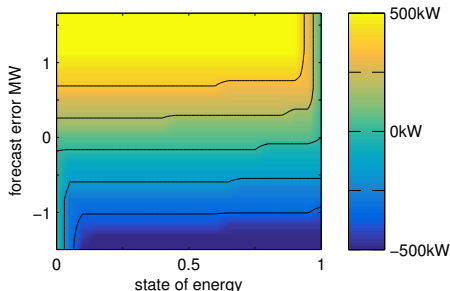
$$V_{sto}(t, X_{sto}) = \min_{U_{sto}} f_{shed}(P_{shed}) + f_{mis}(\Delta P_{grid}) \\ + \mathbb{P}(\Delta P_{pv}(t) | \Delta P_{pv}(t - \Delta T)) \cdot V_{sto}(t + \Delta T, f_{dyn}(X_{sto}, U_{sto}))$$

# Optimisation de stratégies de gestion

## Programmation dynamique : cas de la gestion d'un stockage fixe

stratégie décrivant la puissance de stockage optimale pour

- toute capacité  $E_{sto}$
- tout état de charge  $SoE_{sto}$
- toute erreur de prévision  $\Delta P_{pv}$



**Comment coordonner ces deux stratégies ?**

## Optimisation Distribuée

$$\min_{P_{ev}^i(t), P_{shed}(t)} \sum_t [ \underbrace{f_{grid}}_{\text{dépend de } \sum P_{ev}} + f_{shed} + \sum_{\text{vehicules}} \underbrace{(f_{charg} + f_{age} + f_{mob})}_{\text{dépend de chaque } P_{ev}} ]$$

### Problème de partage

$$\min_{x_i, z_i} \sum_{i=1}^N f_i(x_i) + g \left( \sum_{i=1}^N z_i \right) \text{ tel que } x_i = z_i$$

### Alternating Directions Method of Multipliers

$$x_i^{k+1} = \operatorname{argmin}_{x_i} \left( f_i(x_i) + \frac{\rho}{2} \|x_i - x_i^k + \bar{x}^k - \bar{z}^k + u^k\|^2 \right)$$

$$\bar{z}^{k+1} = \operatorname{argmin}_{\bar{z}} \left( g(N\bar{z}) + \frac{N\rho}{2} \|\bar{z} - u^k - \bar{x}^{k+1}\|^2 \right)$$

$$u^{k+1} = u^k + \bar{x}^{k+1} - \bar{z}^{k+1}$$

# Optimisation multi-objectif

## Consentement de l'utilisateur

- Utilisation de la batterie pour d'autres services
- Compromis avec la mobilité
- Différents comportements entre les usagers

## Comment prendre en compte ce consentement?

Optimisation bi-objectif entre

- un service rendu au réseau  $C_{grid}$  : augmenter la prévisibilité
- un service rendu à l'utilisateur  $C_{mob}$  : sa mobilité

## Pondération des objectifs $\gamma \in [0, 1]$

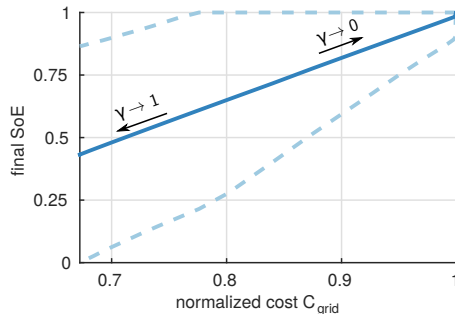
$$\min_{P_{ev}^i(t), P_{shed}(t)} \sum_t \left\{ (1 - \gamma) \cdot f_{grid} + \sum_{vehicules} \gamma \cdot f_{mob} \right\}$$

# Optimisation multi-objectif

## Consentement de l'utilisateur

Comment prendre en compte ce consentement?

Pondération des objectifs  $\gamma \in [0, 1]$



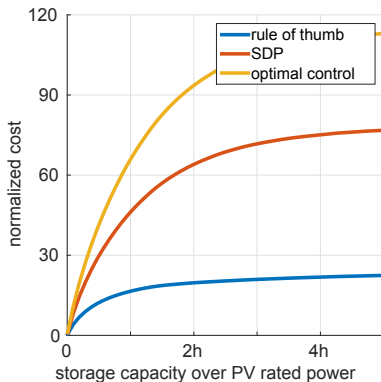
# Optimisation du dimensionnement

## Couplage entre loi de gestion et dimensionnement optimal

- loi empirique
- contrôle stochastique optimal
- contrôle idéal avec prévision parfaite *utopique*

## Influence du modèle économique

- Coût total pour le système
- Coût pour le seul producteur



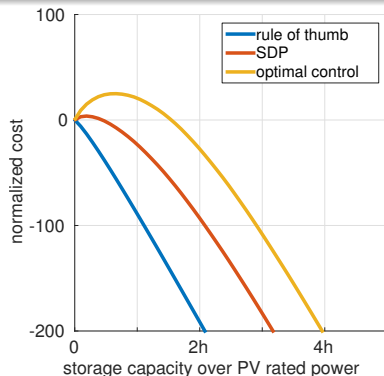
# Optimisation du dimensionnement

## Couplage entre loi de gestion et dimensionnement optimal

- loi empirique
- contrôle stochastique optimal
- contrôle idéal avec prévision parfaite *utopique*

## Influence du modèle économique

- Coût total pour le système
- Coût pour le seul producteur





# Conclusion et Perspectives

## Travaux de thèse

Définition d'un problème généraliste : versatilité du cadre de résolution

Contributions aux sous-problèmes soulevés :

- erreurs de prévision
- vieillissement des batteries

Méthodes de résolution dans un contexte stochastique et de grande dimension

## Enjeux sous-jacents

- Modèles économiques des énergies renouvelables et du stockage
- Compromis entre les usages
- Valeur de l'information

Co-optimisation d'un système collaboratif :  
centrale photovoltaïque et flotte de véhicules  
électriques  
Séminaire RiseGrid

Roman Le Goff Latimier  
Laboratoire SATIE, équipe SETE

[roman.legoff-latimier@ens-rennes.fr](mailto:roman.legoff-latimier@ens-rennes.fr)

15 janvier 2016

