

## Prix Paul Caseau 2014-2015

# Dimensionnement & gestion d'un stockage d'énergie pour l'atténuation des incertitudes de production éolienne

Pierre Haessig

CentraleSupélec — IETR  
<http://pierreh.eu>

Paris, 18 juin 2015

Encadrement :  
Stéphane Lascaud, EDF R&D, LME  
Bernard Multon, Hamid Ben Ahmed, laboratoire SATIE, ENS Rennes

# Plan de la présentation

1. Contexte et enjeux
  - Contexte
  - Problématique
2. Résultats
  - Gestion d'énergie optimale
  - Dimensionnement de la capacité de stockage
3. Conclusion & perspectives

# Plan de la présentation

1. Contexte et enjeux
  - Contexte
  - Problématique
2. Résultats
3. Conclusion & perspectives

## Contexte des Énergies renouvelables (EnR) dans les îles

Les îles (Guadeloupe, La Réunion) ont de petits réseaux (< 1 GW), où l'électricité est chère et carbonée (Diesel : 130 €/MWh).

→ L'éolien est économiquement pertinent (110 €/MWh), mais...

Les réseaux insulaires sont particulièrement sensibles à la **variabilité** des EnR intermittentes (éolien et PV).

## Contexte des Énergies renouvelables (EnR) dans les îles

Les îles (Guadeloupe, La Réunion) ont de petits réseaux (< 1 GW), où l'électricité est chère et carbonée (Diesel : 130 €/MWh).

→ L'éolien est économiquement pertinent (110 €/MWh), mais...

Les réseaux insulaires sont particulièrement sensibles à la **variabilité** des EnR intermittentes (éolien et PV).

Traitement actuel de la variabilité :

- Production : moyens flexibles, mais chers (turbines à combustion à 300 €/MWh).
- Règlementaire : "limite des 30 %" (à tout instant) du taux de production intermittente (dite "énergie fatale")

→ Limitation de la croissance des EnR

# Éolien dans les îles

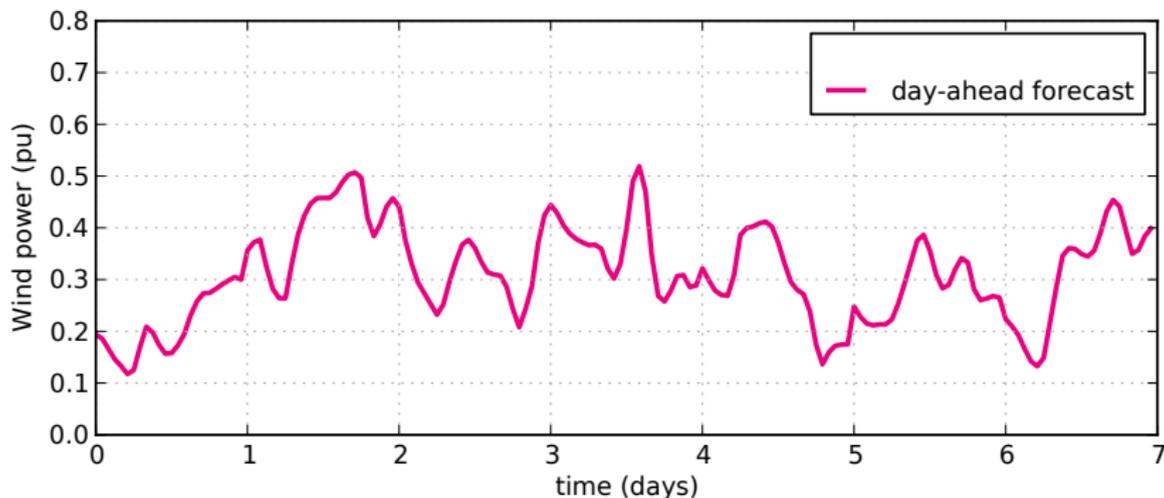


Exemple de turbines anticycloniques de ~250 kW au Vanuatu

# Aperçu de la variabilité éolienne

## Prévision de production J+1

La production éolienne peut être prévue un jour à l'avance, grâce à des outils **météo et statistiques**.

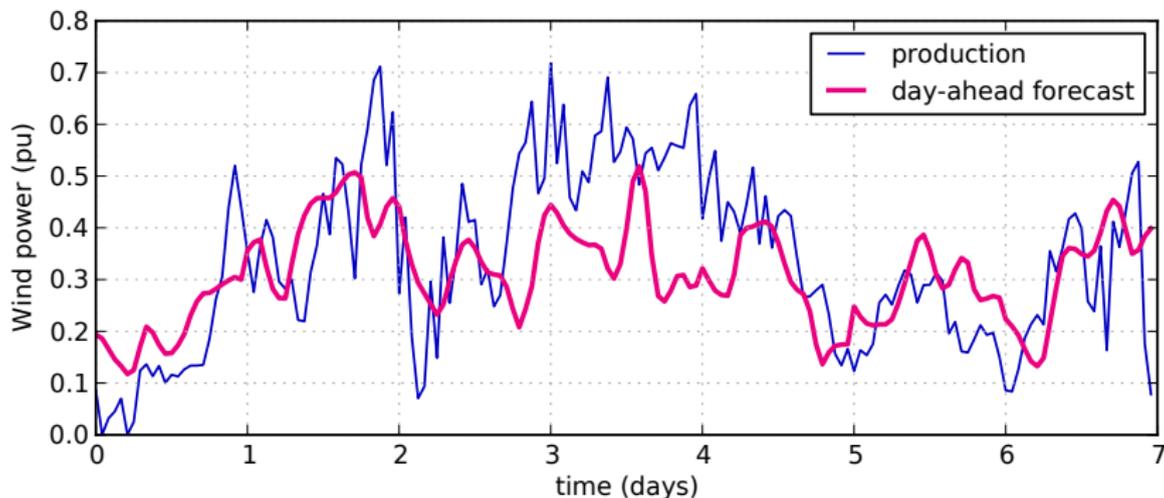


une semaine de prévision/production (moyennes 1h), en Guadeloupe

# Aperçu de la variabilité éolienne

## Prévision de production J+1

La production éolienne peut être prévue un jour à l'avance, grâce à des outils **météo et statistiques**.



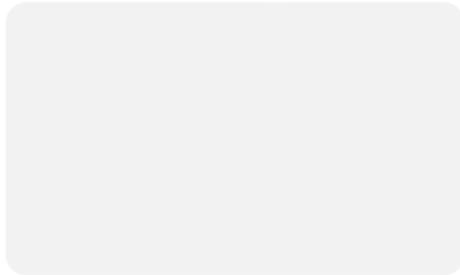
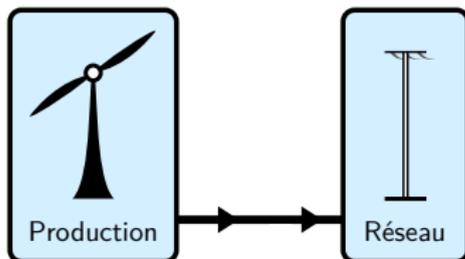
une semaine de prévision/production (moyennes 1h), en Guadeloupe

La prévision J+1 est imparfaite → erreur à compenser...

# Appel d'offres EnR-stockage

un nouveau moyen de traitements de la variabilité EnR

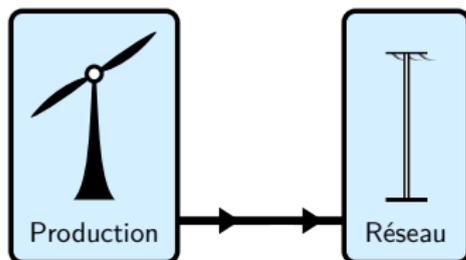
Appel d'offres de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE)  
pour des systèmes éoliens à *production garantie*.



# Appel d'offres EnR-stockage

un nouveau moyen de traitements de la variabilité EnR

Appel d'offres de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE)  
pour des systèmes éoliens à *production garantie*.



Parmi les exigences :

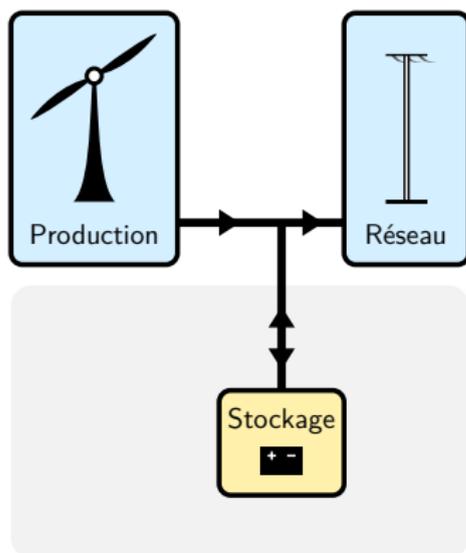
**engagement** sur un plan de production  
1 jour à l'avance (J+1).

Si écarts à l'engagement : **pénalités.**

# Appel d'offres EnR-stockage

un nouveau moyen de traitements de la variabilité EnR

Appel d'offres de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE)  
pour des systèmes éoliens à *production garantie*.



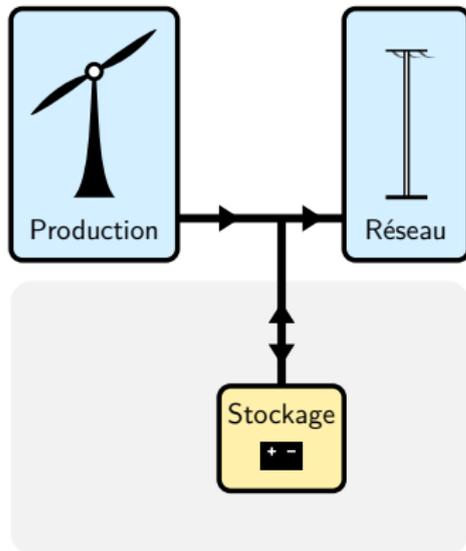
Parmi les exigences :

**engagement** sur un plan de production  
1 jour à l'avance (J+1).

Si écarts à l'engagement : **pénalités**.

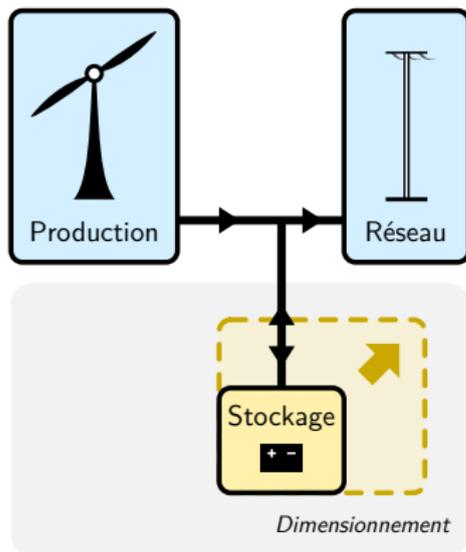
→ un système de stockage d'énergie  
(batteries) est nécessaire pour  
compenser les erreurs de prévisions  
(réduire les pénalités).

# Problématique



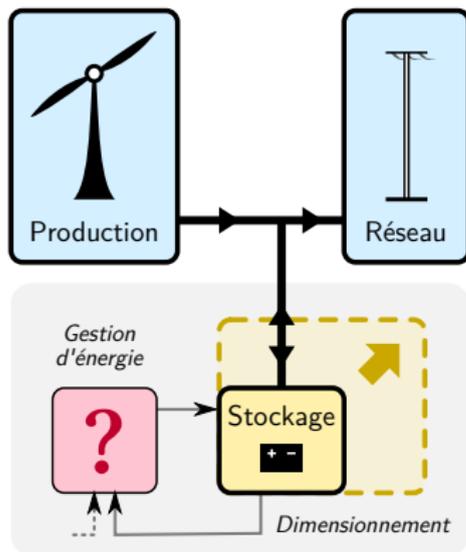
Comment *dimensionner*  
le système éolien-stockage ?

# Problématique



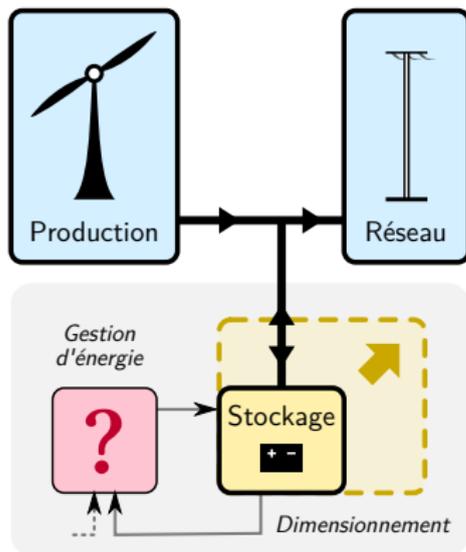
Comment *dimensionner*  
le système éolien-stockage ?

# Problématique



Comment *dimensionner*  
et comment *gérer*  
le système éolien-stockage ?

# Problématique



Comment *dimensionner*  
et comment *gérer*  
le système éolien-stockage ?

## Parmi les difficultés (“verrous”)

Caractère incertain (stochastique) des productions éoliennes.

→ besoin de modélisation statistique

→ techniques d'optimisation adaptées (stochastique).

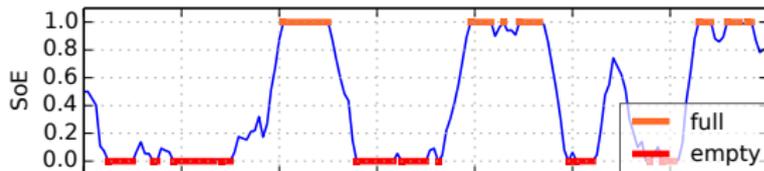
# Plan de la présentation

1. Contexte et enjeux
2. Résultats
  - Gestion d'énergie optimale
  - Dimensionnement de la capacité de stockage
3. Conclusion & perspectives

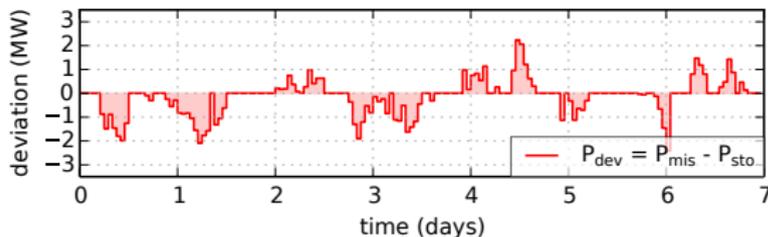
# Gestion d'énergie optimale

## par Programmation Dynamique Stochastique

Enjeux : caractère **aléatoire** des erreurs de prévisions,  
adaptation à la **forme des pénalités** d'écart.



gestion **empirique**  
“compenser les écarts tant que possible”

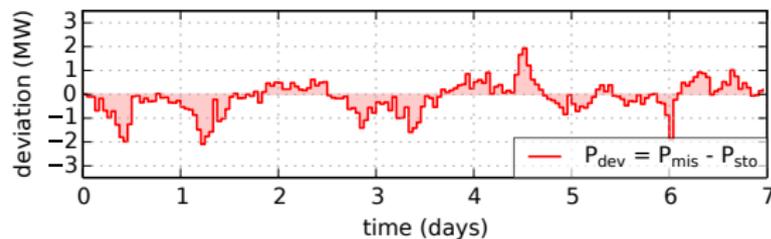
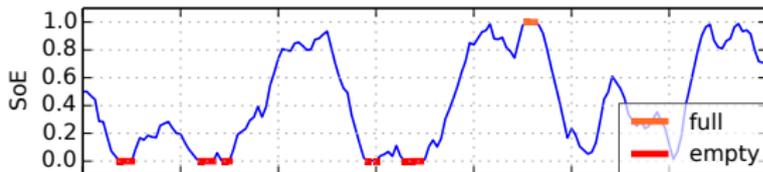


Capacité de stockage  $E_{rated} = 5$  MWh. Écart-type de l'erreur de prévision  $\sigma_P = 1$  MW.

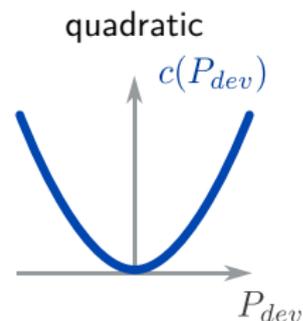
# Gestion d'énergie optimale

## par Programmation Dynamique Stochastique

Enjeux : caractère **aléatoire** des erreurs de prévisions,  
adaptation à la **forme des pénalités** d'écart.



gestion **optimale** pour un coût **quadratique**

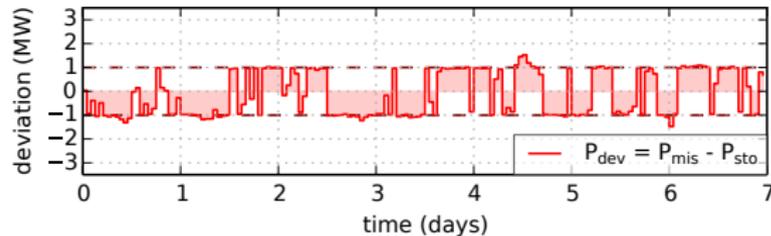
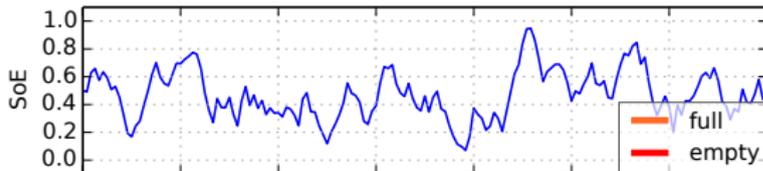


Capacité de stockage  $E_{rated} = 5$  MWh. Écart-type de l'erreur de prévision  $\sigma_P = 1$  MW.

# Gestion d'énergie optimale

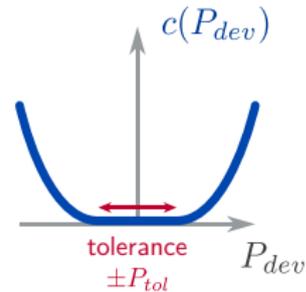
par Programmation Dynamique Stochastique

Enjeux : caractère **aléatoire** des erreurs de prévisions,  
adaptation à la **forme des pénalités** d'écart.



gestion **optimale** pour un coût  
**seuil-quadratique** à  $\pm 1$  MW

threshold-quadratic



Capacité de stockage  $E_{rated} = 5$  MWh. Écart-type de l'erreur de prévision  $\sigma_P = 1$  MW.

## Dimensionnement de la capacité de stockage

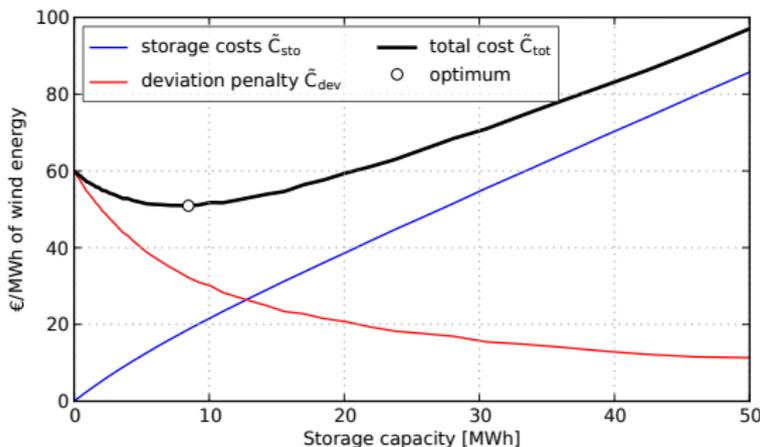
Enjeu : l'optimisation du dimensionnement (critère économique) doit se faire sur **cycle de vie** : tenir compte des pertes et du vieillissement de la batterie.

# Dimensionnement de la capacité de stockage

Enjeu : l'optimisation du dimensionnement (critère économique) doit se faire sur **cycle de vie** : tenir compte des pertes et du vieillissement de la batterie.

Le choix de la capacité de stockage est un **compromis** entre :

- le coût du stockage (y compris pertes et vieillissement)
- et le coût des pénalités d'écart à l'engagement.



# Plan de la présentation

1. Contexte et enjeux
2. Résultats
3. Conclusion & perspectives

## Conclusion & perspectives

### Apport des travaux

Dimensionnement et gestion d'un système de stockage qui :

- prend en compte le **caractère incertain** de l'éolien
- prend en compte le **cycle de vie** de la batterie
- **s'adapte au critère** de pénalisation fixé par la CRE

## Conclusion & perspectives

### Apport des travaux

Dimensionnement et gestion d'un système de stockage qui :

- prend en compte le **caractère incertain** de l'éolien
- prend en compte le **cycle de vie** de la batterie
- **s'adapte au critère** de pénalisation fixé par la CRE

### Mise en œuvre industrielle

EDF Store & Forecast, 2014 (direction : Stéphane Lascaud)