

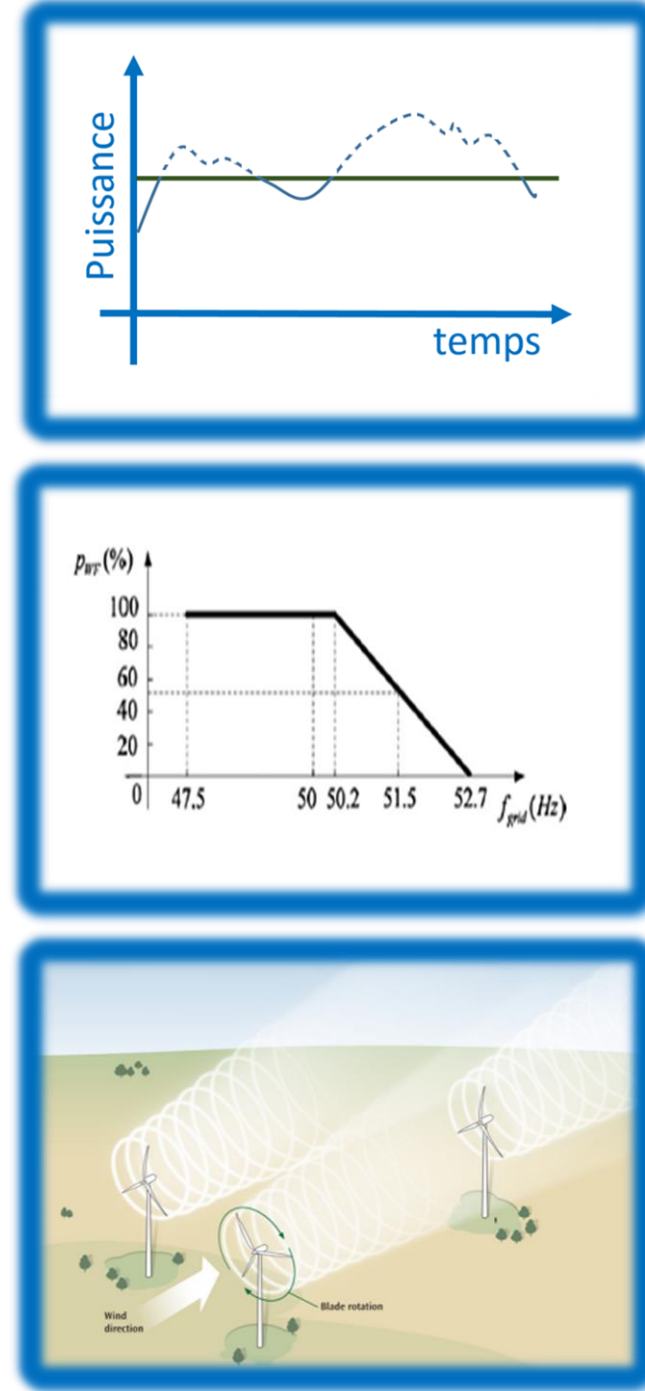
# Optimisation du Contrôle d'un Parc Eolien

WTE 2016

N. Gionfra\*, G. Sandou\*, H. Siguerdidjane\*, D. Faille\*\*, et P. Loevenbruck\*\*  
CentraleSupélec\* - EDF\*\*

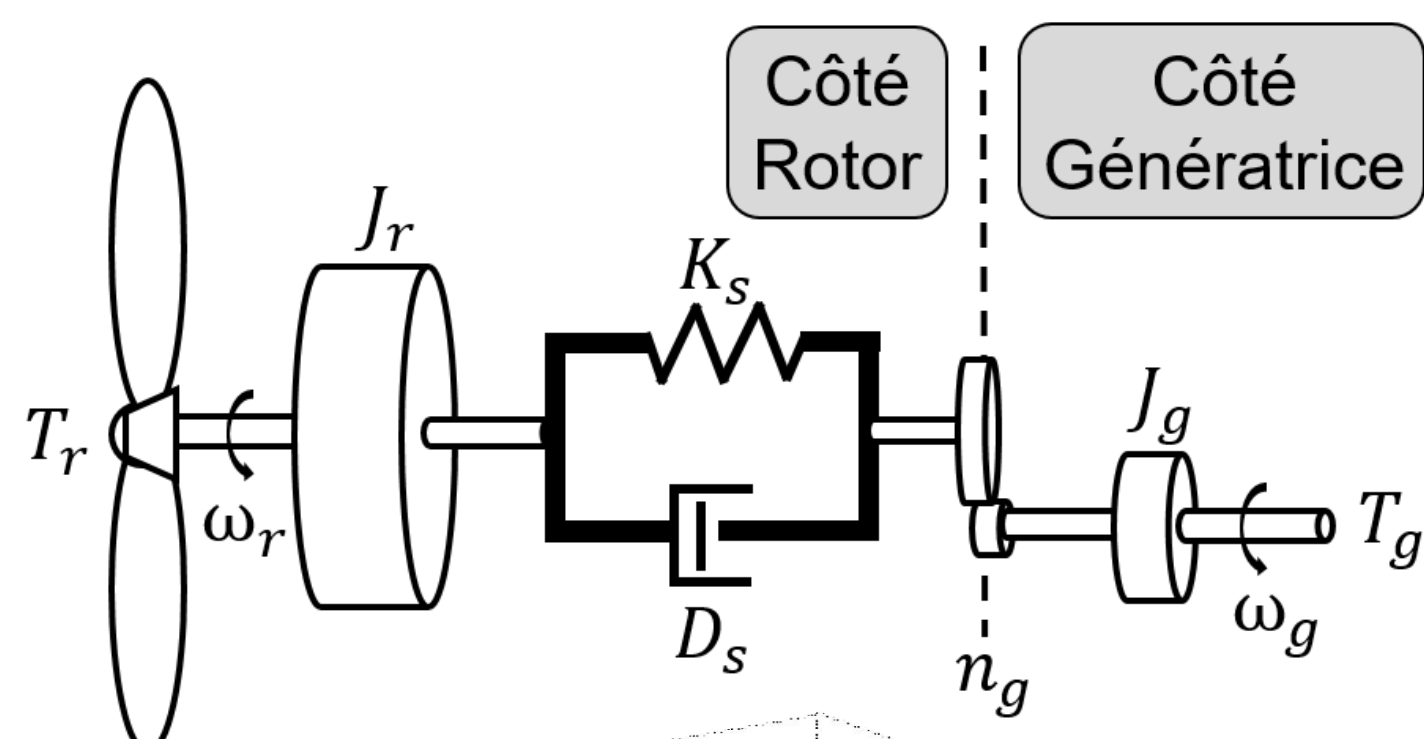
## Introduction

Le rôle des parcs éoliens pour la satisfaction des contraintes du réseau, quant à l'équilibrage entre la production et la consommation d'énergie, a aujourd'hui fortement changé. Dans ce contexte, ces travaux se situent au niveau de l'étude des méthodes de contrôle-commande pour accomplir les objectifs de satisfaction des *contraintes de puissance maximale à injecter* dans le réseau et de participation au *réglage primaire de fréquence*. Dans le même temps, un des buts reste de *maximiser la puissance* extraite du vent en considérant les effets de couplage aérodynamique parmi les turbines éoliennes.



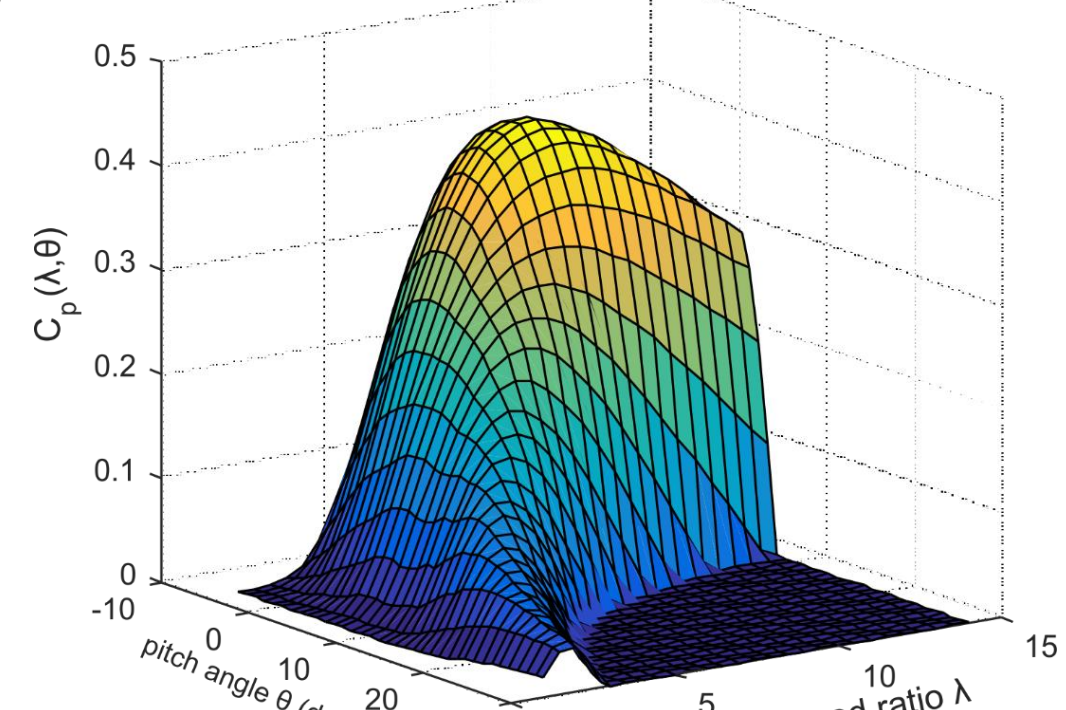
## Modèles & Objectifs

### Modèle à deux masses d'une turbine



$$\begin{cases} \dot{\omega}_r \\ \dot{\omega}_g \\ \dot{\delta} \\ \dot{\vartheta} \\ \dot{T}_g \end{cases} = \begin{bmatrix} \frac{1}{J_r} P_r(\omega_r, \vartheta, v) - \frac{D_s}{J_r} \omega_r - \frac{D_s}{J_r n_g} \omega_r - \frac{K_s}{J_r} \delta \\ \frac{D_s}{J_g n_g} \omega_r - \frac{D_s}{J_g n_g^2} \omega_g + \frac{K_s}{J_g n_g} \delta - \frac{1}{J_g} T_g \\ \omega_r - \frac{1}{n_g} \omega_g \\ -\frac{1}{\tau_\vartheta} \vartheta + \frac{1}{\tau_\vartheta} \vartheta_r \\ -\frac{1}{\tau_T} T_g + \frac{1}{\tau_T} T_{g,r} \end{bmatrix}$$

$$P_e = \omega_g T_g$$



Turbine CART  $C_p$  (situé au NREL's National Wind Technology Center)

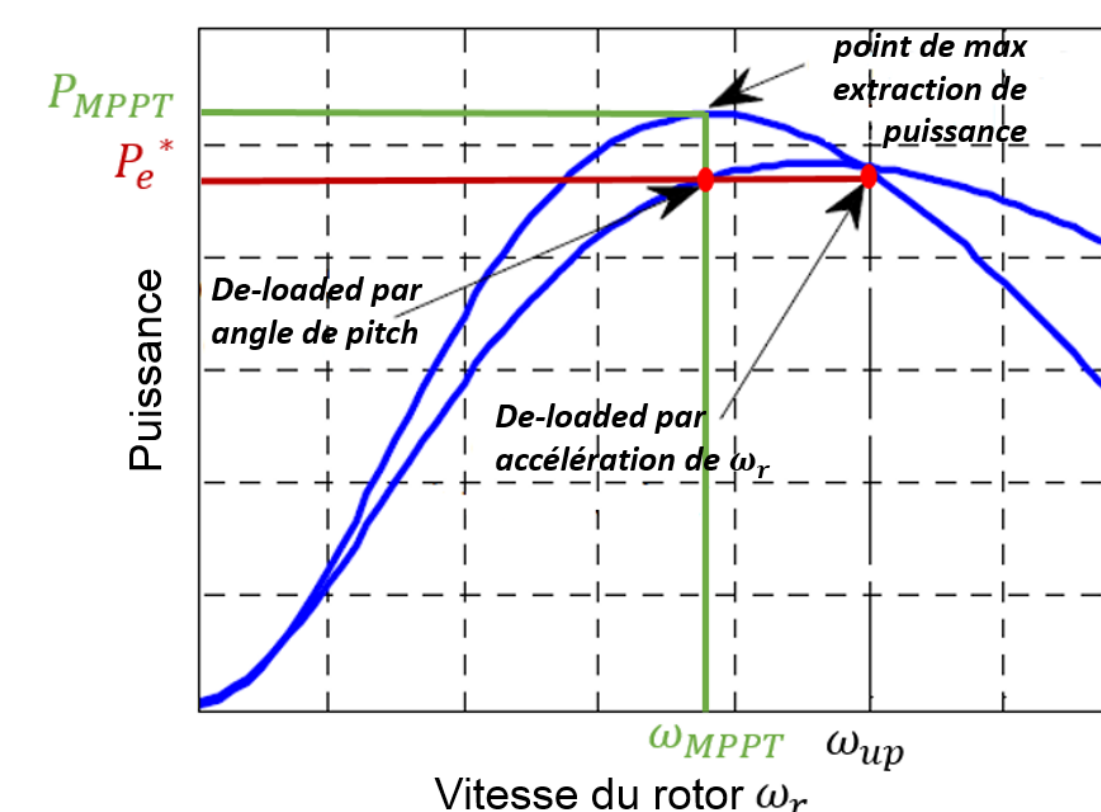
Où  $P_r = \omega_r T_r = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 C_p(\lambda, \vartheta)$

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{v}$$

Et sa puissance nominale: 600 kW.

### Objectif du contrôle d'une turbine

Pour une référence de puissance  $P_e^*(t)$  et une vitesse de vent  $v(t)$ , trouver le couple des signaux  $(\vartheta_r(t), T_{g,r}(t))$  qui permet de suivre la consigne en maximisant l'énergie cinétique stockée dans les masses tournantes. En particulier, on veut pouvoir opérer la turbine en mode *de-loaded*, quand nécessaire.



$$(\omega_r^*, \vartheta^*) = \arg \max_{\omega_r, \vartheta} \omega_r \text{ sujet à}$$

$$P_e^* = P_r(\omega_r, \vartheta, v)$$

$$\omega_{r,min} \leq \omega_r \leq \omega_{r,max}, \vartheta_{min} \leq \vartheta \leq \vartheta_{max}$$

### Modèle de l'effet de sillage à l'échelle d'un parc

L'énergie cinétique, qu'une turbine peut capter du vent, dépend aussi des points de fonctionnement des turbines situées en amont.

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v_i^3 (\alpha_1, \dots, \alpha_N, u_\infty, \vartheta^W) C_p(\alpha_i) \eta_i$$

Où  $\alpha_i = \frac{v_i - v_{R,i}}{v_i}$ ,  $C_p(\alpha_i) = 4\alpha_i(1 - \alpha_i)^2$

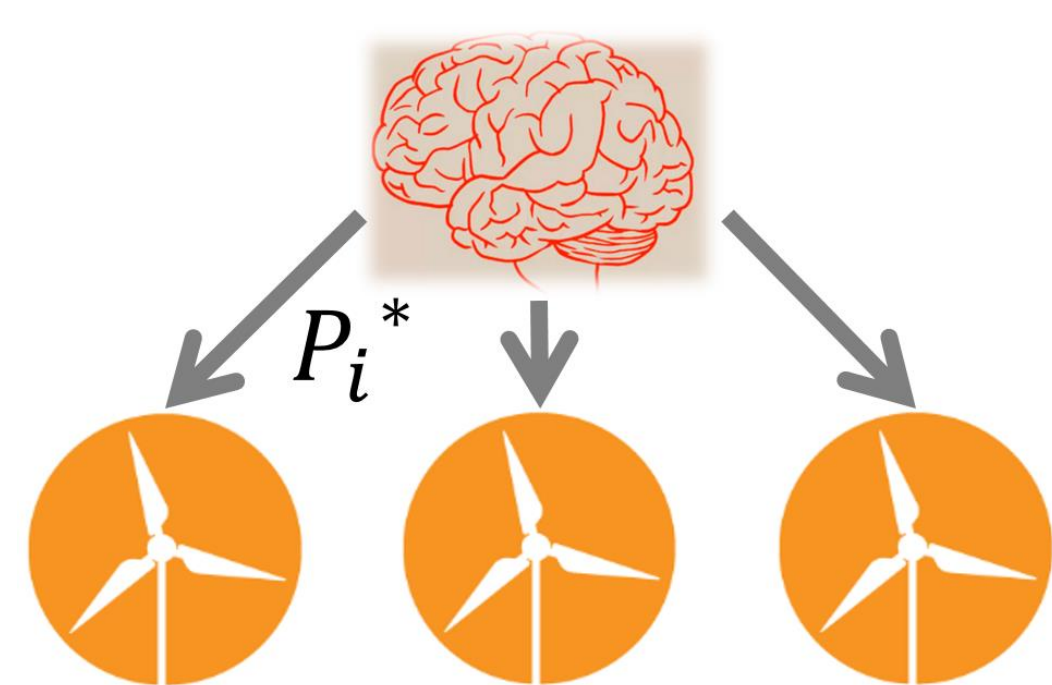
$$v_i = u_\infty(1 - \delta \bar{u}_i), \delta \bar{u}_i = \sqrt{\sum_{j \in N_i} \delta \bar{u}_{ij}^2}, \delta \bar{u}_{ij} = f(d_{ij}, r_{ij}, \alpha_j)$$

### Contrôle hiérarchisé d'un parc

$$\alpha^* = \arg \max_{\alpha=(\alpha_1, \dots, \alpha_N)} P_{tot}(\alpha, u_\infty, \vartheta^W)$$

$$P_i^* = \frac{C_p(\alpha_i^*) \eta_i}{C_{p,CART}(\omega_{r,MPPT,i}, \vartheta_{MPPT,i}, v_i)}$$

Où  $P_{MPPT,i} = \max_{(\omega_{r,i}, \vartheta_i)} P_{r,i}(\omega_{r,i}, \vartheta_i, v_i)$

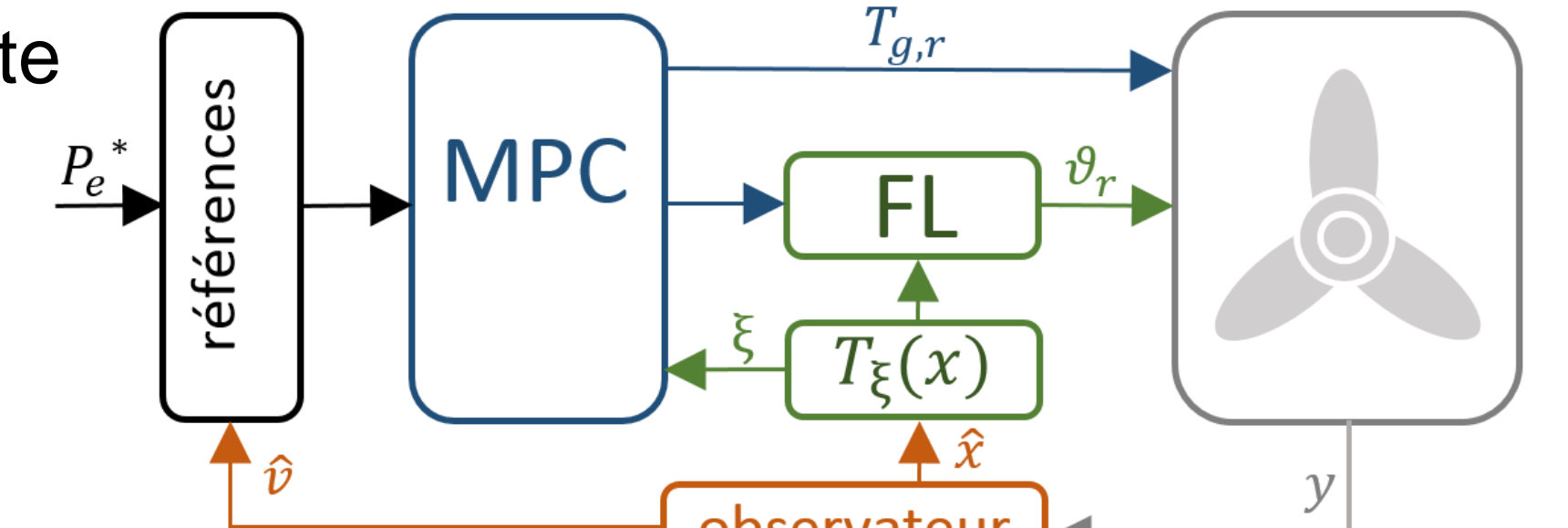


## Résultats et Simulations

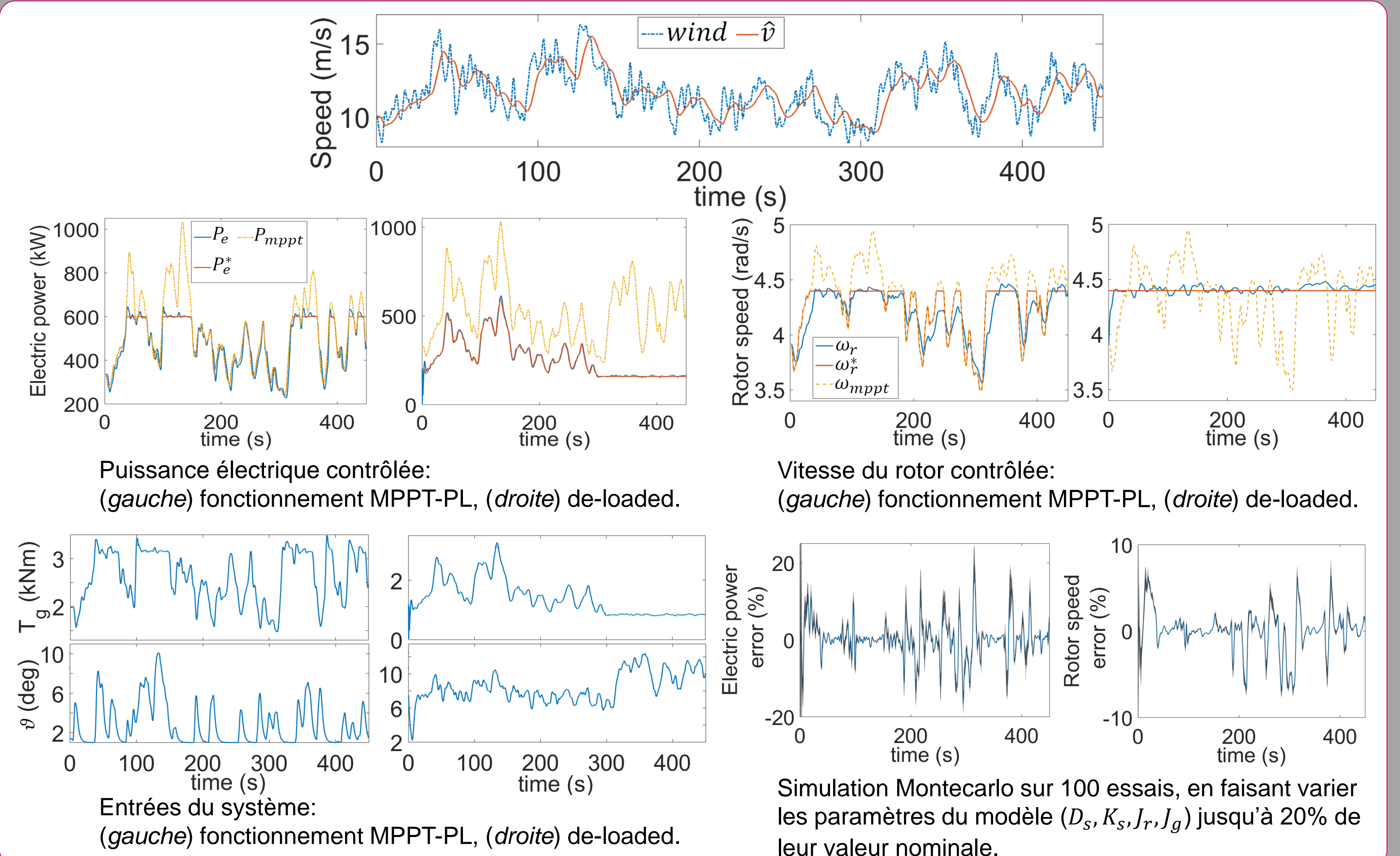
### Contrôle local proposé

Basé sur une combinaison de la *linéarisation par feedback* (FL) et le *contrôle prédictif* (MPC), il permet de:

- Contrôler la turbine dans toute la région de fonctionnement.
- Suivre une consigne de puissance quelconque, (MPPT (1), PL (2), de-loaded).

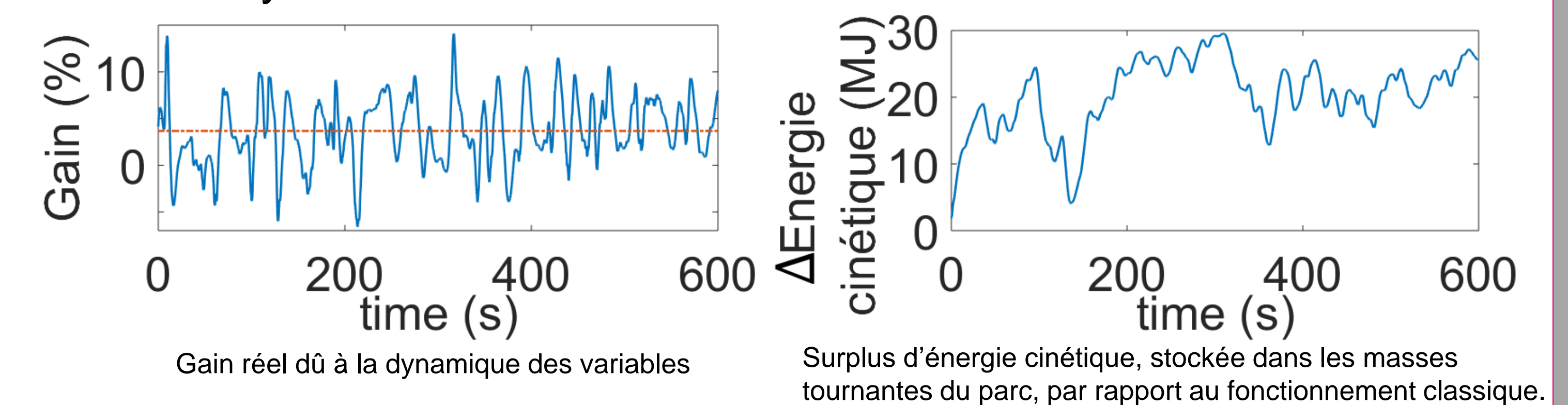
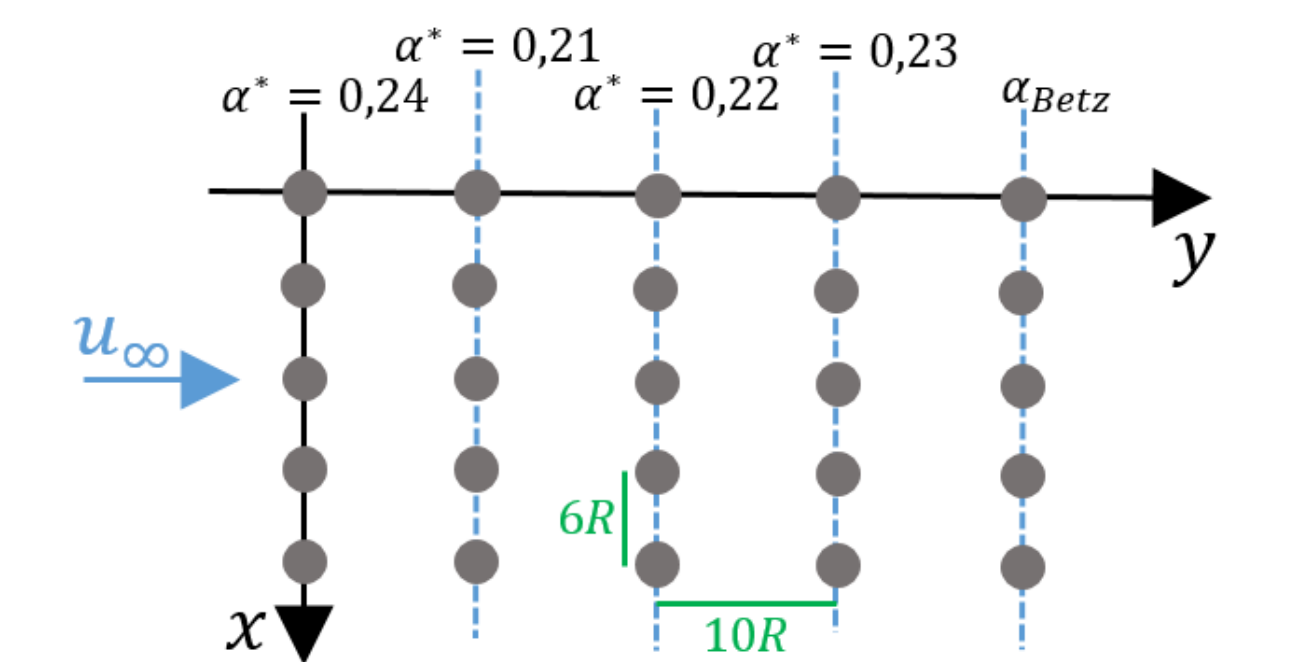


(1) Maximum Power Point Tracking, (2) Power Limiting



### Maximisation de la puissance d'un parc

L'optimisation au niveau parc calcule un gain théorique de 9% par rapport au cas où les turbines fonctionnent en mode MPPT-PL. A cause de la dynamique des variables le gain effectif moyen est de ~ 4%.



## Conclusion

### Conclusion

- Suivi de  $P_e$  quelconque pour:
  - Contraintes de réseau.
  - Maximisation de puissance.
- Gain remarquable pour les parcs de grande taille si l'effet de sillage est considéré.

### Perspectives

- Distribution de la charge pour la minimisation du stress mécanique.
- Intégration des moyens de stockage.
- Contrôle distribué d'un parc.

## Références

- [1] N. Gionfra, H. Siguerdidjane, G. Sandou, D. Faille, and P. Loevenbruck. Combined Feedback Linearization and MPC for Wind Turbine Power Tracking. IEEE, MSC, 2016.
- [2] N. Gionfra, H. Siguerdidjane, G. Sandou, and D. Faille. Hierarchical Control of a Wind Farm for Wake Interaction Minimization. IFAC, CTDSG, 2016.
- [3] J. Park, and K.H Law. Cooperative Wind Turbine Control for Maximizing Wind Farm Power Using Sequential Convex Programming. Energy Conversion and Management, vol. 101, 295-316, 2015.