HAL
open science

Optimisation du contrôle d'un parc éolien

Nicolo Gionfra, Houria Siguerdidjane, Guillaume Sandou, Damien Faille, Philippe Loevenbruck

To cite this version:

Nicolo Gionfra, Houria Siguerdidjane, Guillaume Sandou, Damien Faille, Philippe Loevenbruck. Optimisation du contrôle d'un parc éolien. Vers la Transition Energétique, WTE 2016, Oct 2016, Palaiseau, France. 2016. hal-01381012

HAL Id: hal-01381012

https://centralesupelec.hal.science/hal-01381012

Submitted on 13 Oct 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

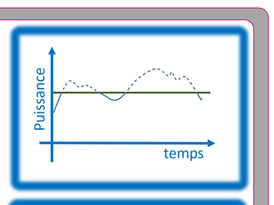
Optimisation du Contrôle d'un Parc Eolien

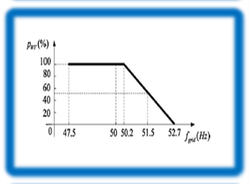
WTE 2016

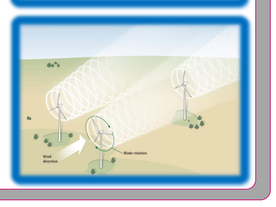
N. Gionfra*, G. Sandou*, H. Siguerdidjane*, D. Faille**, et P. Loevenbruck**
CentraleSupélec* - EDF**

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.

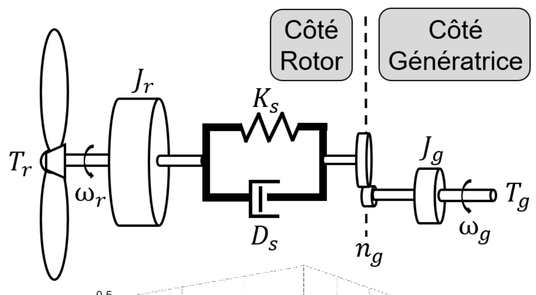




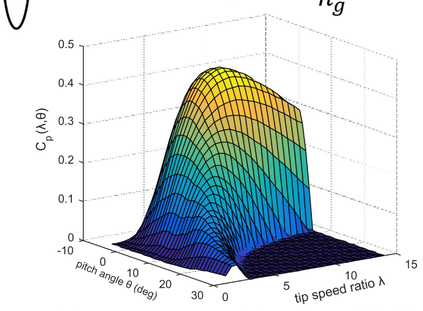


Modèles & Objectifs

Modèle à deux masses d'une turbine



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



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

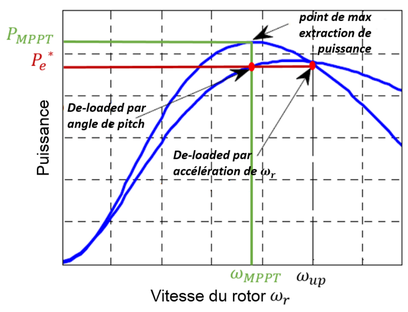
Où $P_r = \omega_r T_r = \frac{1}{2}\rho\pi R^2 v^3 C_p(\lambda,\vartheta)$

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

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.



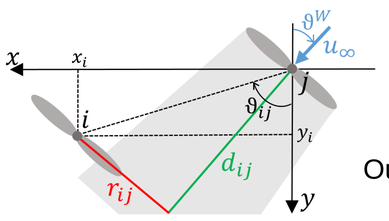
$$({\omega_r}^*, \vartheta^*) = \arg\max_{\omega_r,\vartheta} \omega_r \ \ sujet\ à$$

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

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

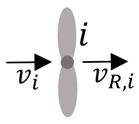
Modèle de l'effet de sillage à l'échelle d'un parc

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



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

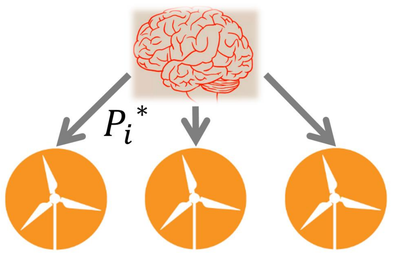
Contrôle hiérarchisé d'un parc

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

$$\Downarrow$$

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

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

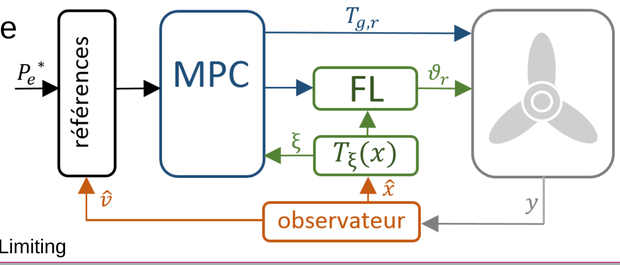


Résultats et Simulations

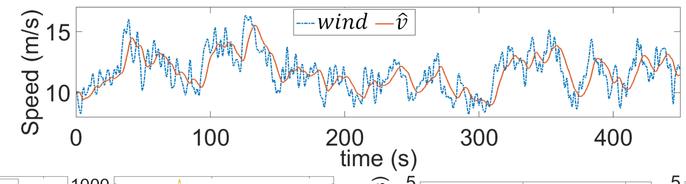
Contrôle local proposé

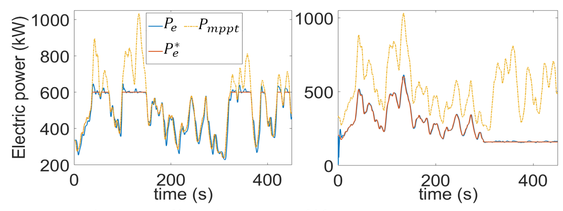
Basé sur une combinaison de la *linéarisation par feedback* (FL) et le *contrôle prédictif* (MPC), il permet de:

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

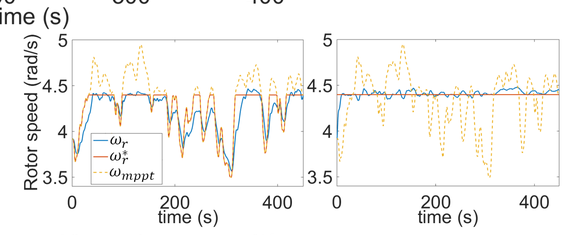


[(1)]Maximum Power Point Tracking, [(2)]Power Limiting

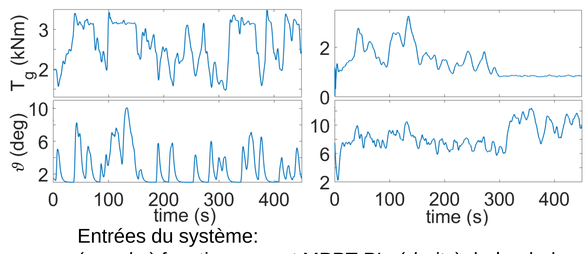




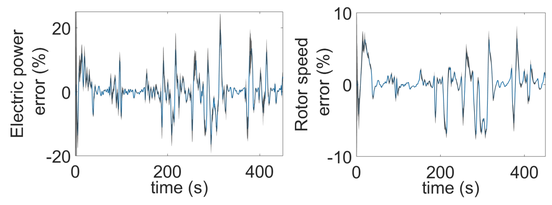
Puissance électrique contrôlée: (*gauche*) fonctionnement MPPT-PL, (*droite*) de-loaded.



Vitesse du rotor contrôlée: (*gauche*) fonctionnement MPPT-PL, (*droite*) de-loaded.



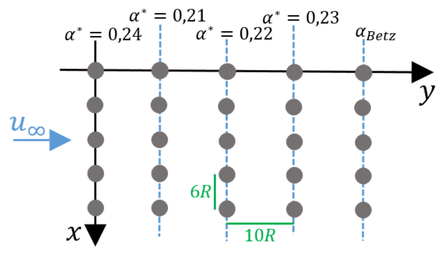
Entrées du système: (*gauche*) fonctionnement MPPT-PL, (*droite*) de-loaded.

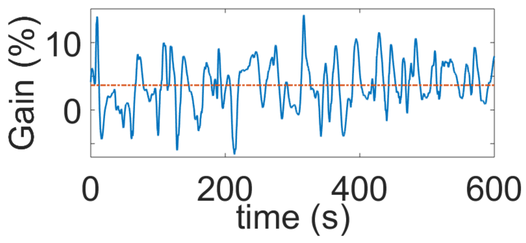


Simulation Montecarlo sur 100 essais, en faisant varier les paramètres du modèle (D_s, K_s, J_r, J_g) jusqu'à 20% de leur valeur nominale.

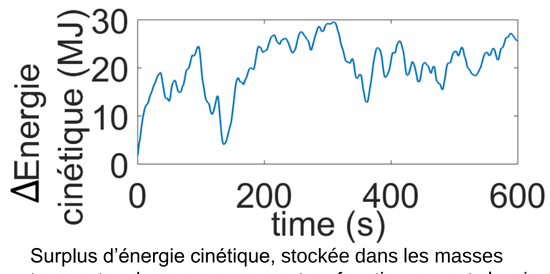
Maximisation de la puissance d'un parc

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%.





Gain réel dû à la dynamique des variables



Surplus d'énergie cinétique, stockée dans les masses tournantes du parc, par rapport au fonctionnement classique.

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.