

Optimisation des systèmes électriques d'énergie houlomotrice

Anne BLAVETTE

Chargée de Recherche CNRS
Laboratoire SATIE, ENS-Rennes

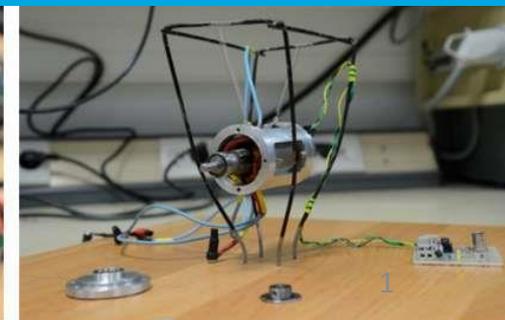
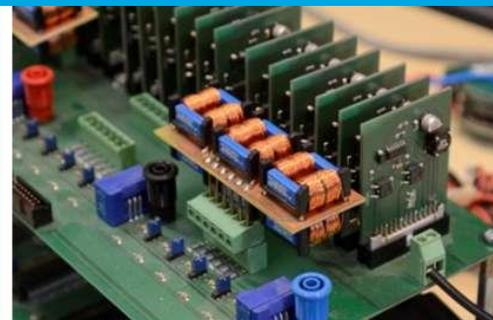
Nantes, GdR EMR, 21 octobre 2016



$$\frac{\partial J}{\partial \eta_i} = 2 \cdot \text{Re} (h^H Q h_i)$$

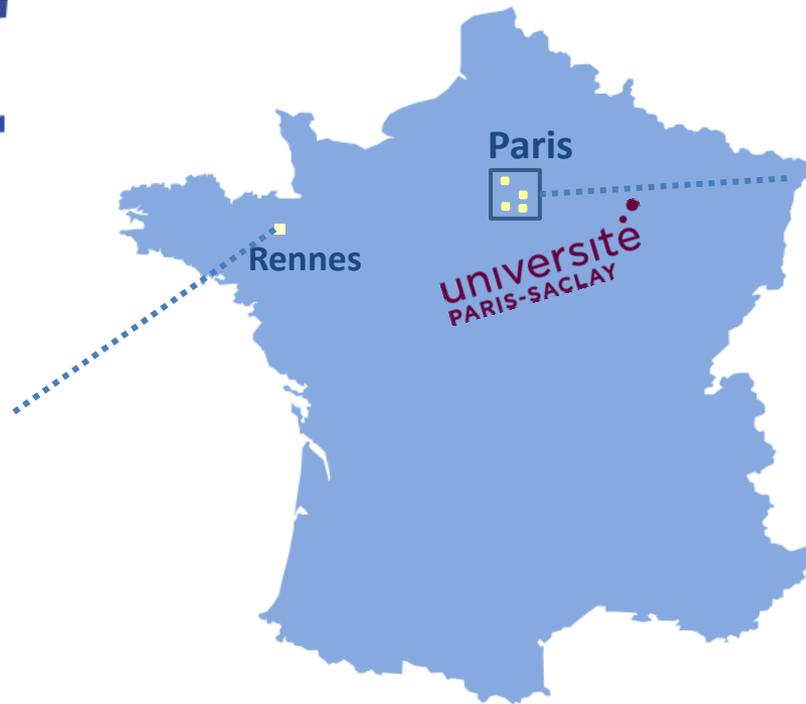
$$\nabla_{\eta} (J) = 2 \cdot \text{Re} (D^H Q h)$$

$$BCR(\eta_i) = \frac{\sigma^2}{2P \cdot \text{Re} \{ \text{Tr} [G_{i,i} R_S] \}}$$



Laboratoire SATIE

SATIE



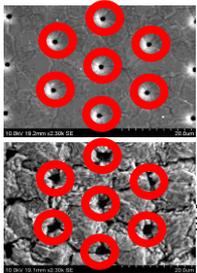
ENS-Rennes

ENS-Cachan
+ 3 universités
(CNAM, Univ. Paris-Sud,
Univ. Cergy-Pontoise)

- Disciplines: génie électrique & traitement du signal
- 200 membres

Génie électrique

Matériaux



Equipement



Electronique
de puissance



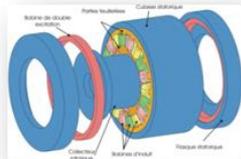
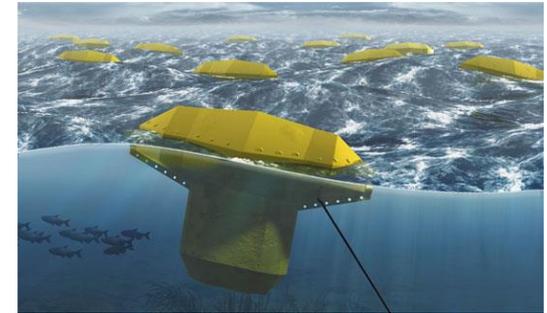
Stockage
d'énergie

Sous-systèmes



Energie
renouvelable

Systèmes complexes



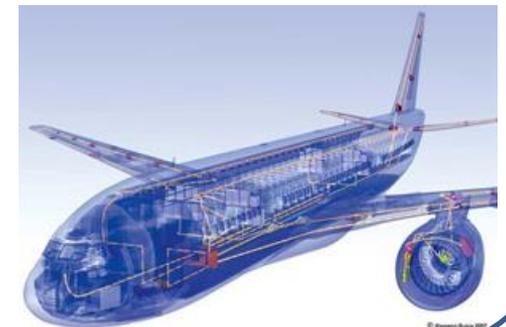
Actuateurs



Composants
intégrés



Moteurs
électriques



Activités de recherche

Objectifs de l'équipe SETE:

Développement de **méthodologies** et de **modèles** pour résoudre les problèmes d'**optimisation des systèmes énergétiques**



Co-optimisation conception/gestion des systèmes d'énergie houlomotrice

Travaux de recherche

- Objectif: minimiser coût de l'électricité produite à partir des vagues

Conception

Travaux de recherche

- Objectif: minimiser coût de l'électricité produite à partir des vagues

Conception

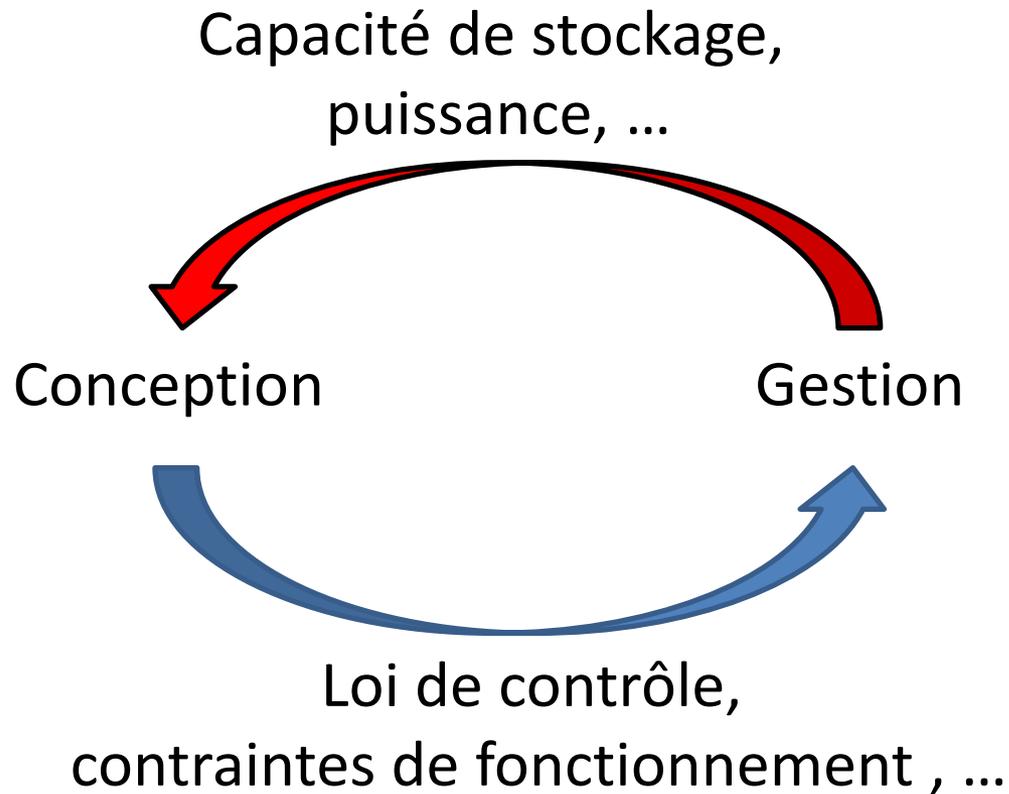
Gestion



Loi de contrôle,
contraintes de fonctionnement , ...

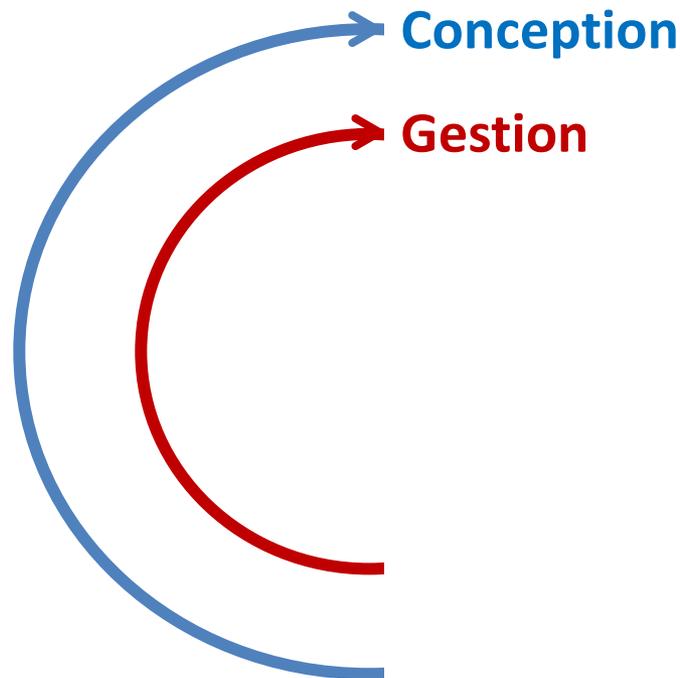
Travaux de recherche

- Objectif: minimiser coût de l'électricité produite à partir des vagues



Travaux de recherche

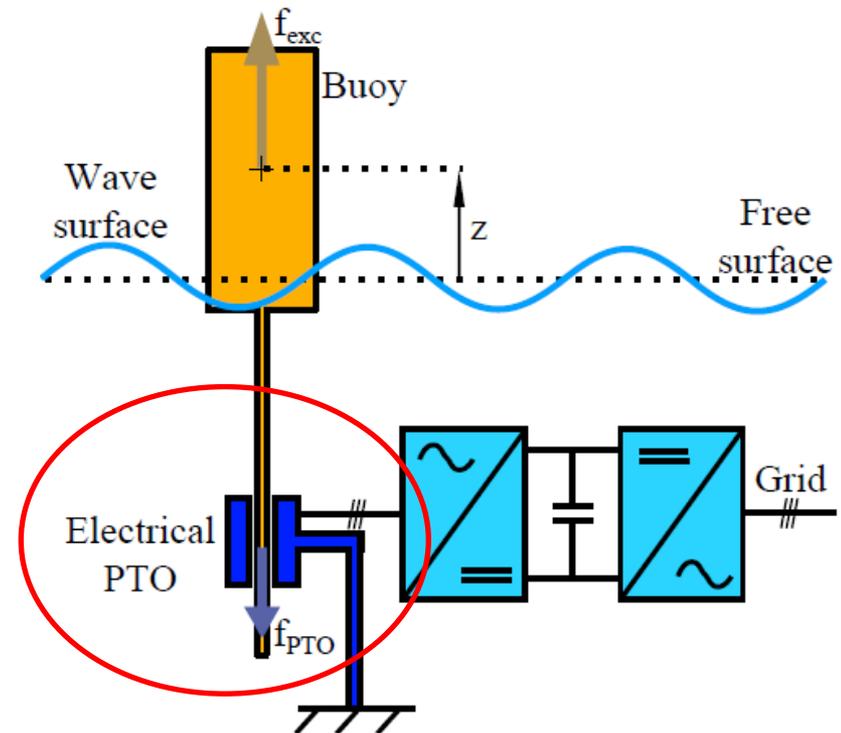
- Problème couplé de co-optimisation conception/gestion



Reference: H. Fathy, J. Reyer, P. Papalambros, et A. Ulsoy. On the coupling between the plant and controller optimization problems. In American Control Conference, Arlington, USA, 2001.

Travaux de recherche

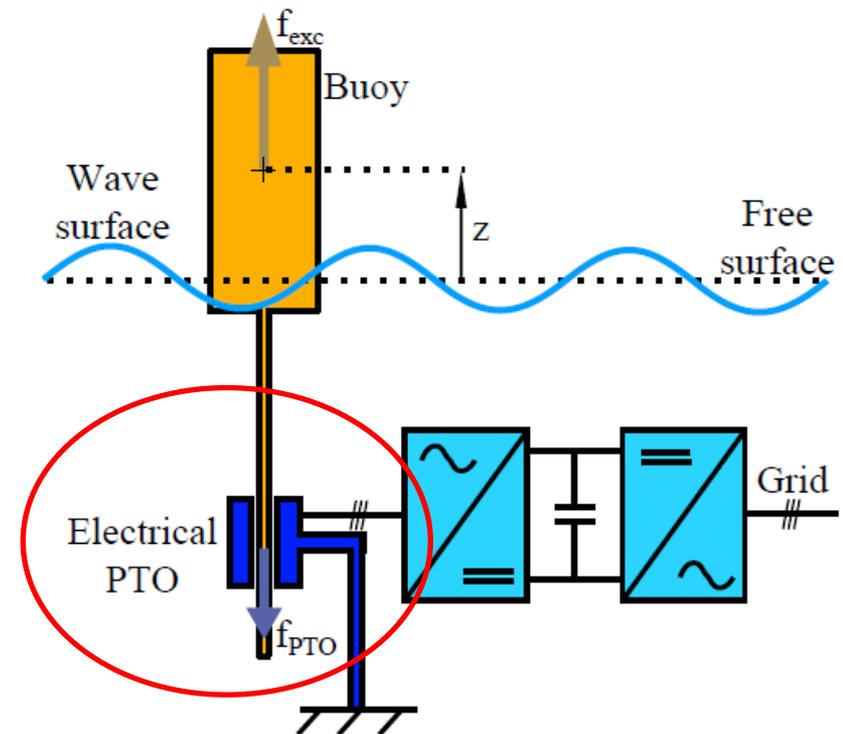
- Etat de l'art: optimisation du PTO (en gestion)



Source: thèse de T. Kovaltchouk

Travaux de recherche

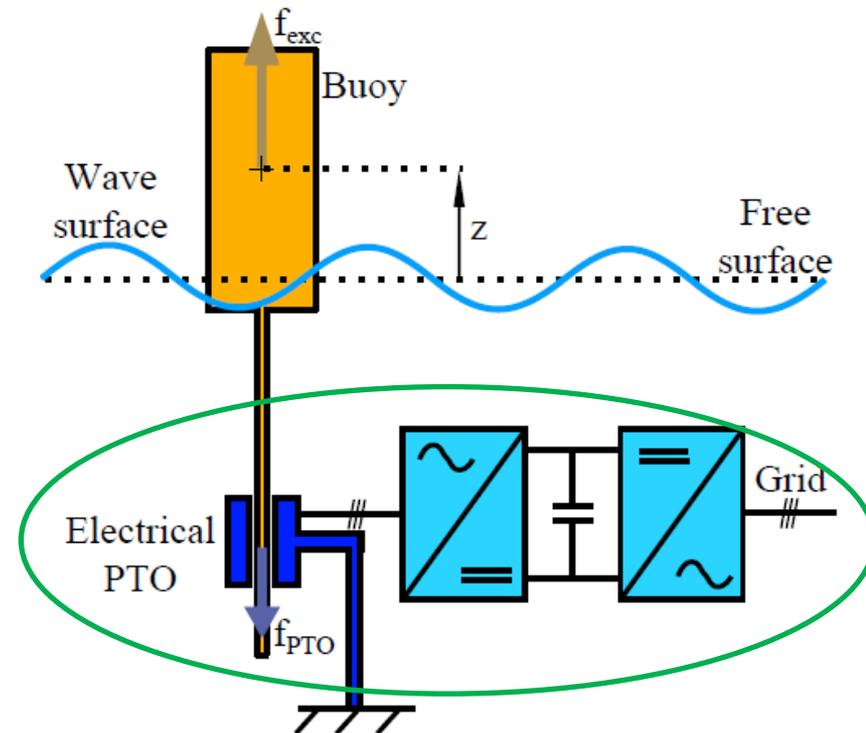
- Etat de l'art: optimisation du PTO (en gestion)
- ✓ Co-optimisation conception/gestion (technico-économique)



Source: thèse de T. Kovaltchouk

Travaux de recherche

- Etat de l'art: optimisation du PTO (en gestion)
- ✓ Co-optimisation conception/gestion (technico-économique)
- ✓ Prise en compte de l'électronique de puissance



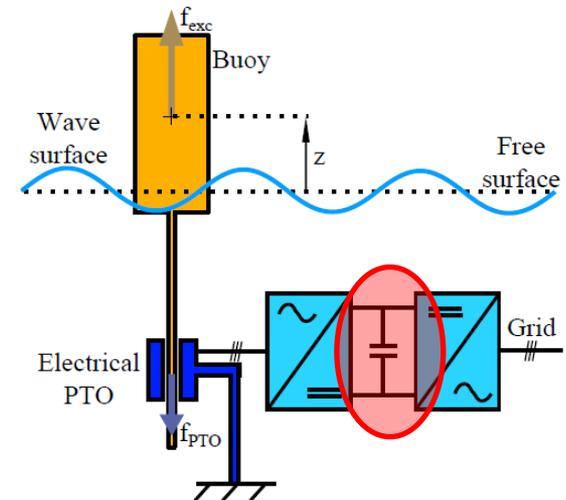
Source: thèse de T. Kovaltchouk

Travaux de recherche

- Thèses en collaboration avec l'Ecole Centrale de Nantes
 - Marie Ruellan
« *Méthodologie de dimensionnement d'un système de récupération de l'énergie des vagues* », 2007.
 - Judicaël Aubry
« *Optimisation du dimensionnement d'une chaîne de conversion électrique directe incluant un système de lissage de production par supercondensateurs : application au houlogénérateur SEAREV* », 2011.
 - Thibaut Kovaltchouk
« *Contributions à la co-optimisation contrôle-dimensionnement sur cycle de vie sous contrainte réseau des houlogénérateurs directs* », 2015.

Travaux de recherche

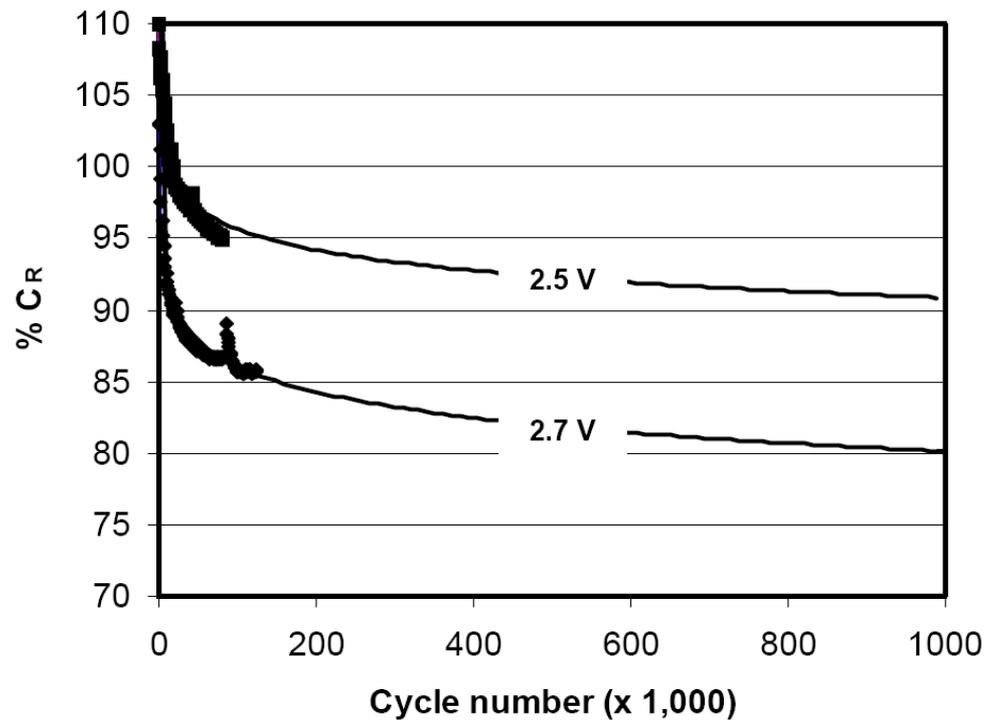
- Vieillessement des supercondensateurs
 - Dégradation perf.
 - Remplacement
- Deux types de vieillissement
 - Calendaire (V , θ)
 - En cyclage de puissance
(70 millions de cycles en houlomoteur!)



Source: thèse de T. Kovaltchouk

Travaux de recherche

- Modèles de vieillissement des supercondensateurs
 - Fiches constructeur: **insuffisant!**



Source: Maxwell Technologies

Travaux de recherche

- Vieillessement des supercondensateurs (calendaire)
 - Loi d'Eyring (classique)

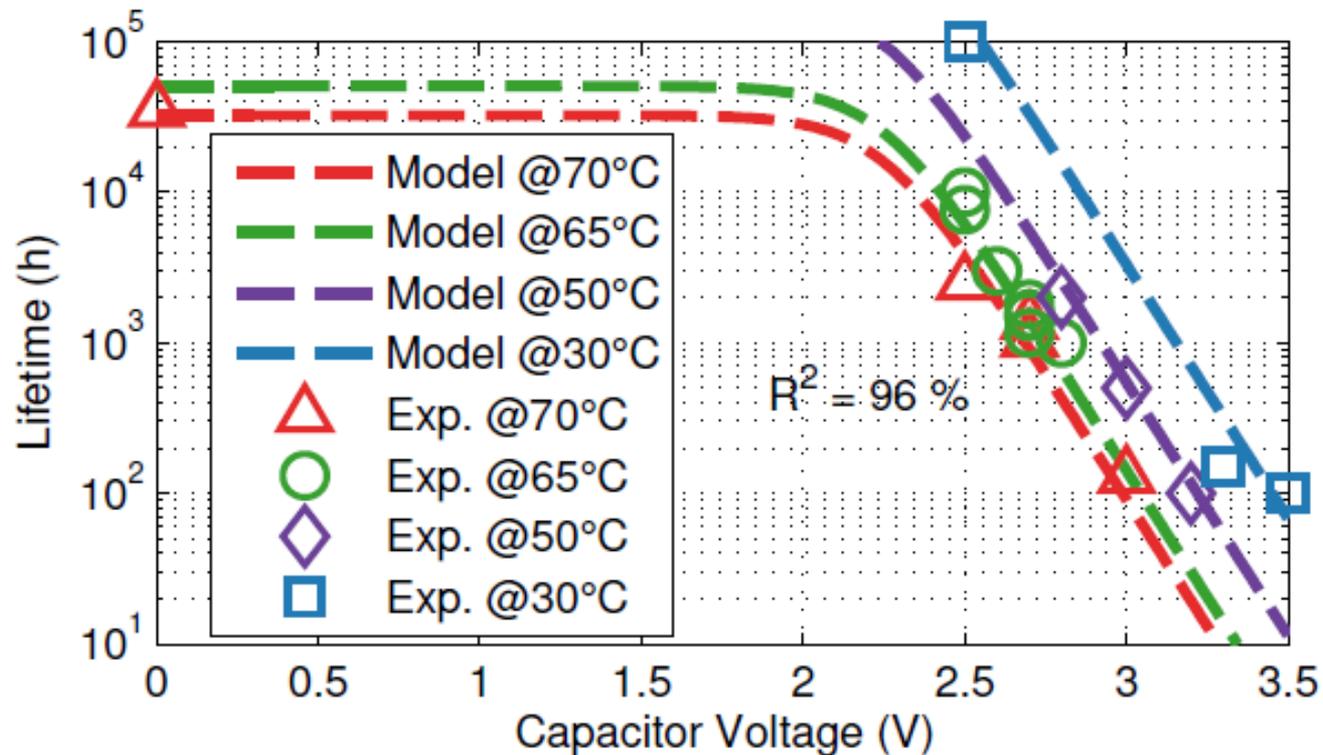
$$T_{life}(V, \theta_c) = T_{life}^{ref} \times \exp\left(\ln(2) \frac{\theta_c^{ref} - \theta_c}{\theta_0}\right) \times \exp\left(\ln(2) \frac{V^{ref} - V}{V_0}\right)$$

- Cas basse tension + haute température

$$\frac{dSoA}{dt} = \frac{1}{T_{life}^{ref}} \times \exp\left(\ln(2) \frac{\theta_c - \theta_c^{ref}}{\theta_0}\right) \times \left[\exp\left(\ln(2) \frac{V - V^{ref}}{V_0}\right) + K \right]$$

Travaux de recherche

- Vieillissement des supercondensateurs (calendaire)



Source: thèse de T. Kovaltchouk

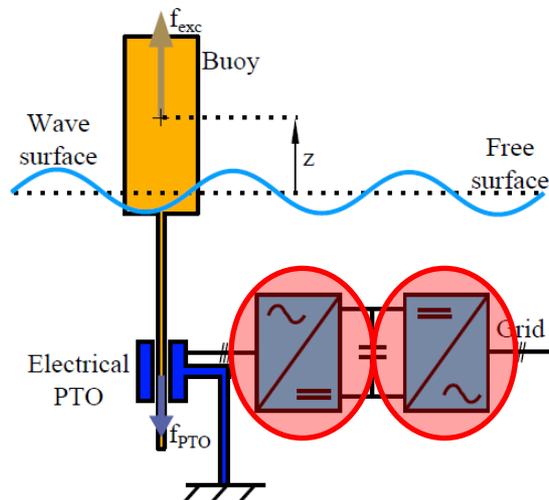
Travaux de recherche

- Vieillessement des supercondensateurs (cyclage)
 - Constructeurs: cycle standardisé peu représentatif
 - Littérature: peu de références
 - Expérimentations au laboratoire Ampère (Lyon)

$$\frac{dSoA}{dt} = \frac{1}{T_{life}^{ref}} \times \exp\left(\ln(2) \frac{\theta_c - \theta_c^{ref}}{\theta_0}\right) \times \left[\exp\left(\ln(2) \frac{V - V^{ref}}{V_0}\right) + K \right] \times \exp\left(k_{RMS} \frac{\dot{I}_{RMS}}{C_0}\right)$$

Travaux de recherche

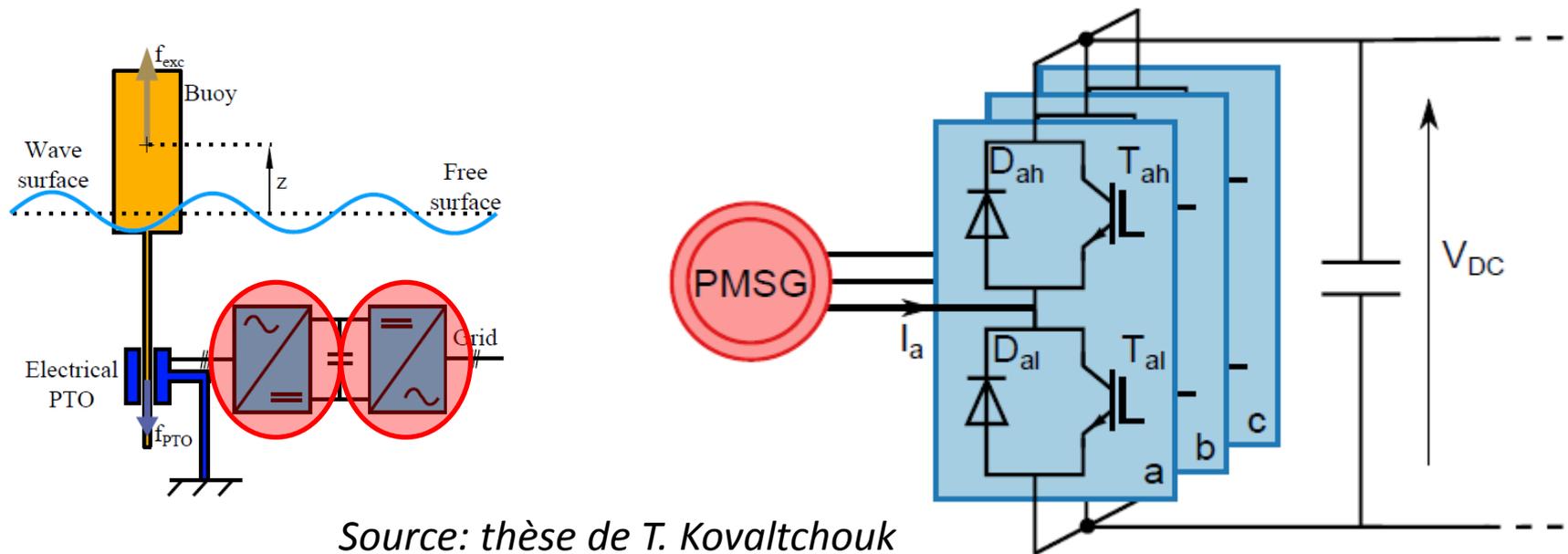
- Pertes énergétiques dans les convertisseurs de puissance



Source: thèse de T. Kovaltchouk

Travaux de recherche

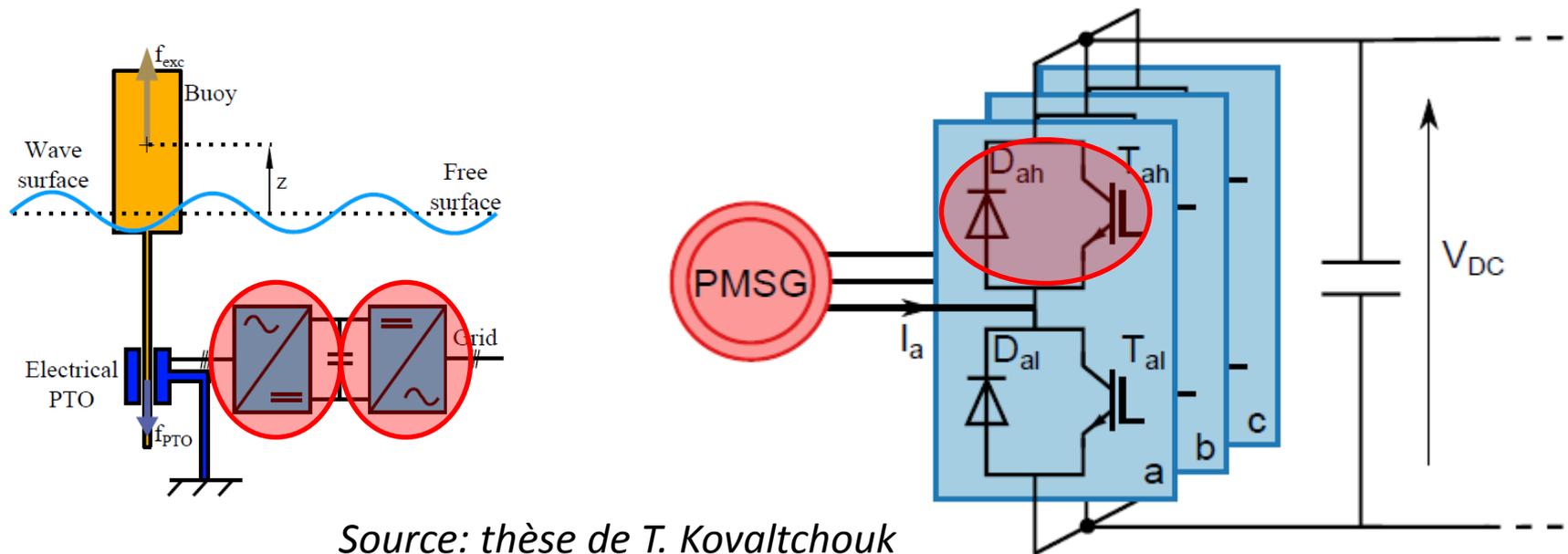
- Pertes énergétiques dans les convertisseurs de puissance
- Fiabilité (durée de vie) du système diode-IGBT → remplacement



Source: thèse de T. Kovaltchouk

Travaux de recherche

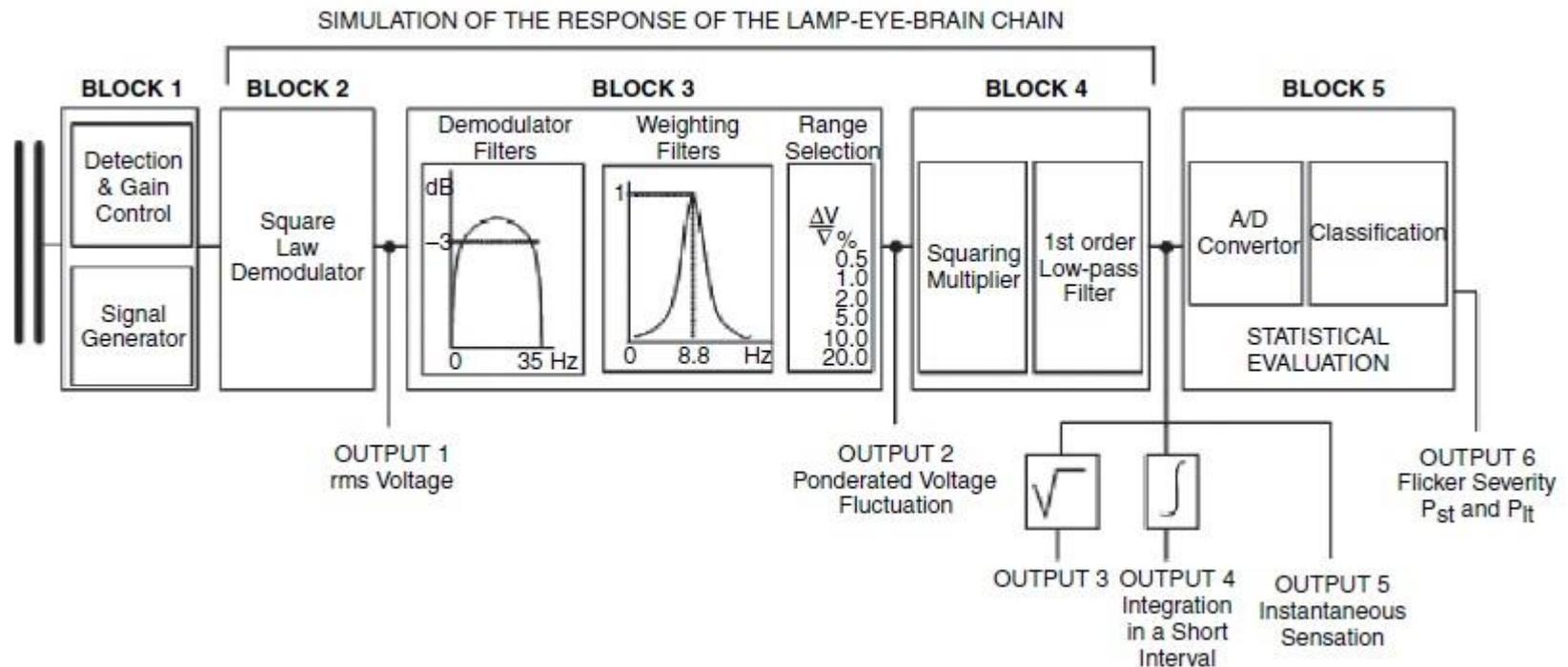
- Pertes énergétiques dans les convertisseurs de puissance
- Fiabilité (durée de vie) du système diode-IGBT → remplacement



Source: thèse de T. Kovaltchouk

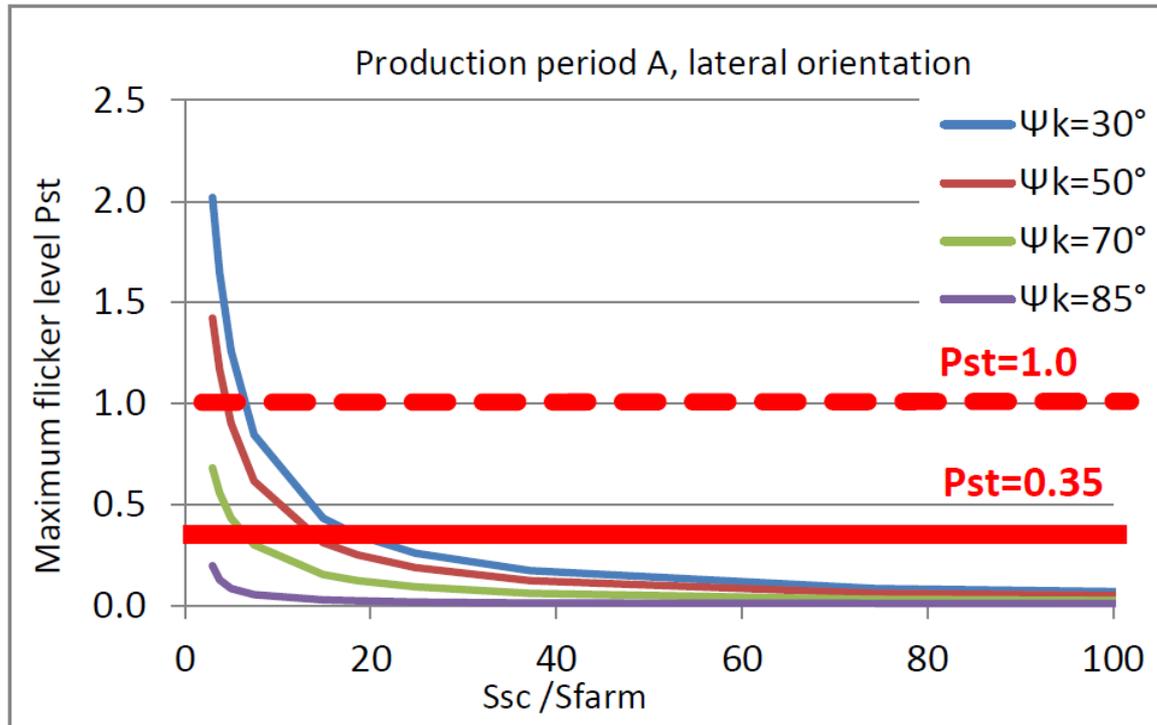
Travaux de recherche

- Contrainte de fonctionnement: qualité de l'énergie (flicker)
 - « Grid codes » et réglementations: $Pst < Pst_{max}$
 - Norme IEC 61000-4-15



Travaux de recherche

- Contrainte de fonctionnement: qualité de l'énergie (flicker)

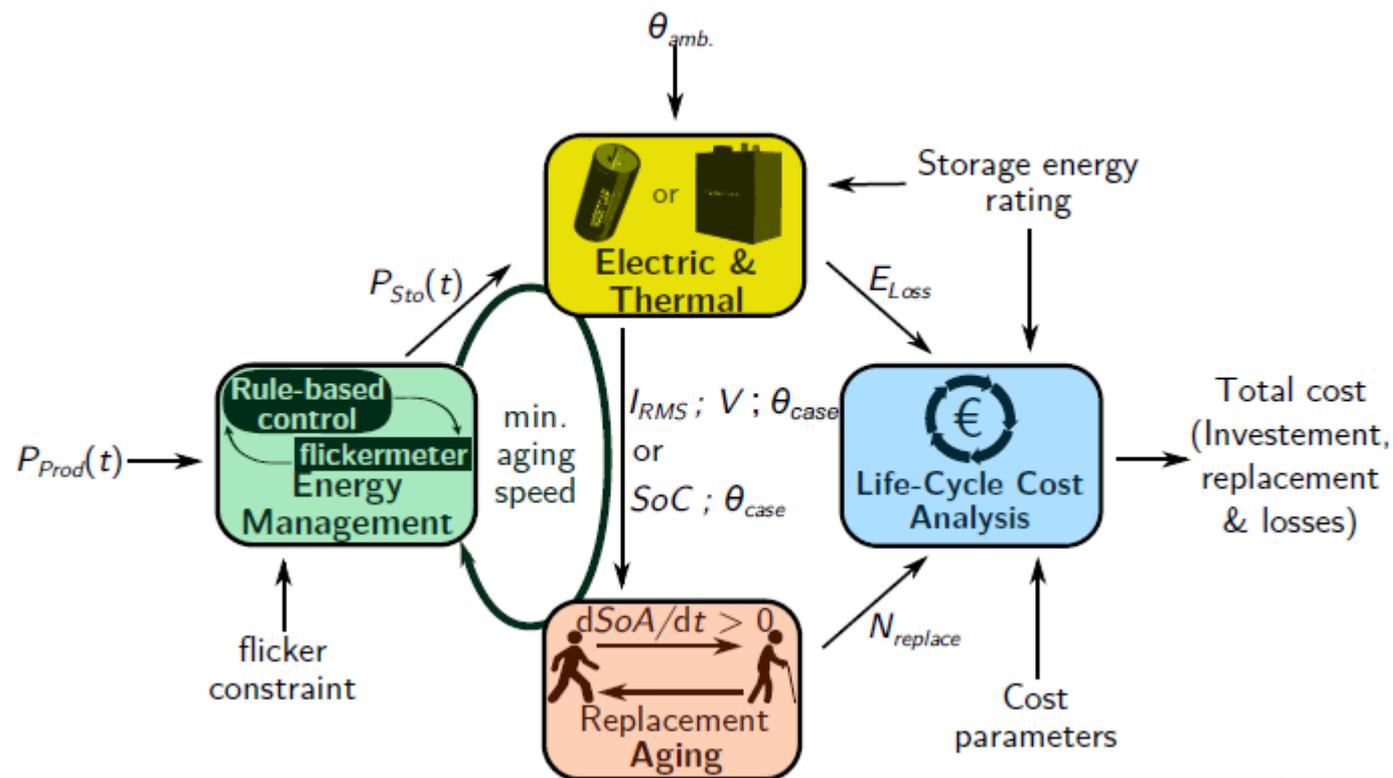


- Limites en flicker
 $0.3 < P_{st_{max}} < 1.0$
- Limites global/ind.
- Flicker ambient!

Reference: "Impact of a Medium-Size Wave Farm on Grids of Different Strength Levels", A. Blavette, D.L. O'Sullivan, R. Alcorn, T. Lewis, M.G. Egan, 2014, *IEEE Trans. on Power Syst.*

Travaux de recherche

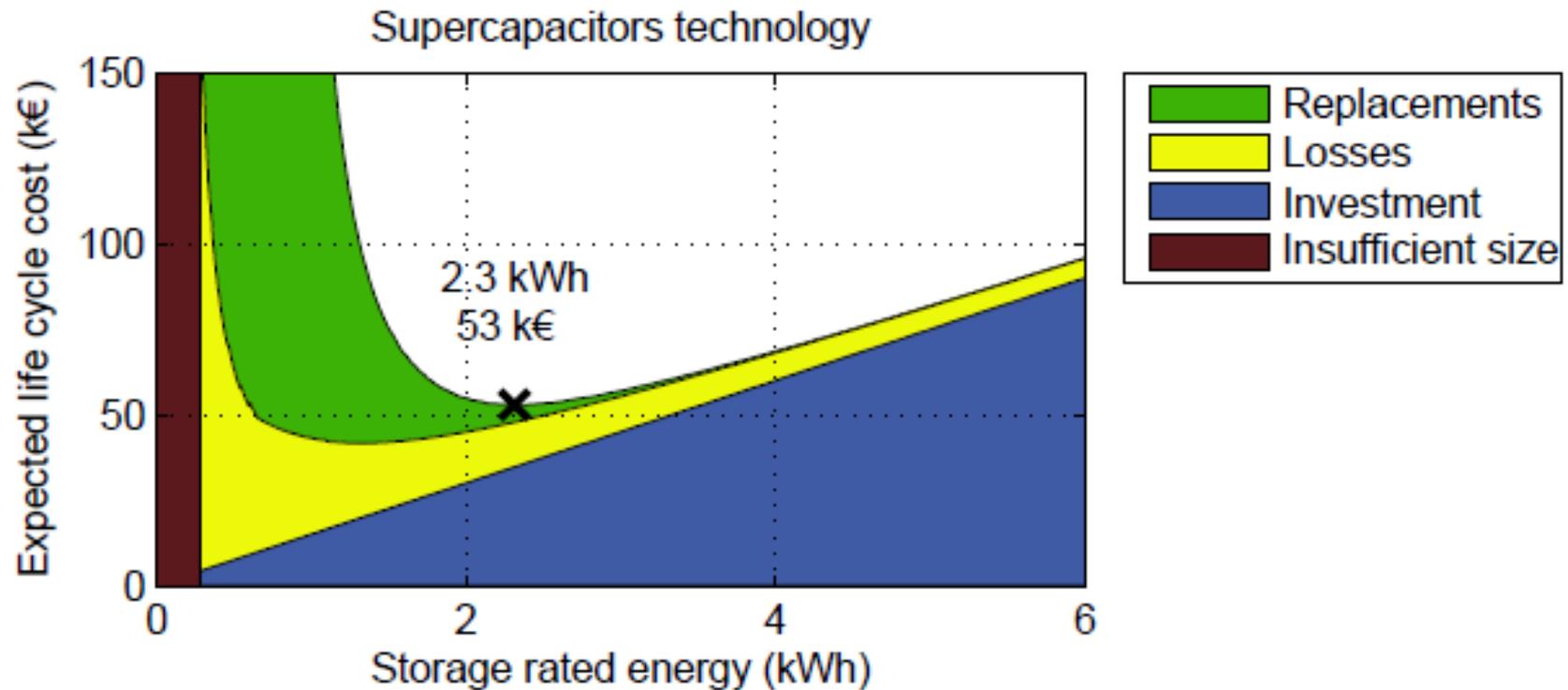
- Optimisation technico-économique



Source: thèse de T. Kovaltchouk

Travaux de recherche

- Optimisation technico-économique



Source: thèse de T. Kovaltchouk

Travaux de recherche

- Modèles génériques pour l'analyse de l'impact réseau par les houlogénérateurs
 - Initiative de l'Agence Internationale de l'Energie (OES)

Travaux de recherche

- Modèles génériques pour l'analyse de l'impact réseau par les houlogénérateurs
 - Initiative de l'Agence Internationale de l'Energie (OES)
 - Expérience de l'industrie éolienne
 - Absence de modèles fiables pour simulateurs réseau
 - Moratoire sur les connexions en Irlande (2005)
 - Complexité de la modélisation spécifique
 - Modélisation générique

Travaux de recherche

- Modèles génériques pour l'analyse de l'impact réseau par les houlogénérateurs
 - Initiative de l'Agence Internationale de l'Energie (OES)
 - Expérience de l'industrie éolienne
 - Absence de modèles fiables pour simulateurs réseau
 - Moratoire sur les connexions en Irlande (2005)
 - Complexité de la modélisation spécifique
 - Modélisation générique
 - Houlomoteur:
 - Multiplicité des concepts
 - Absence de leader
 - Aspects dynamiques

Travaux de recherche

- Modèles génériques
 - Structure commune et publique
 - Configurable
 - Données non-confidentielles fournies par les développeurs

Travaux de recherche

- Modèle générique pour l'analyse de flicker

Etat de mer
(T_e)

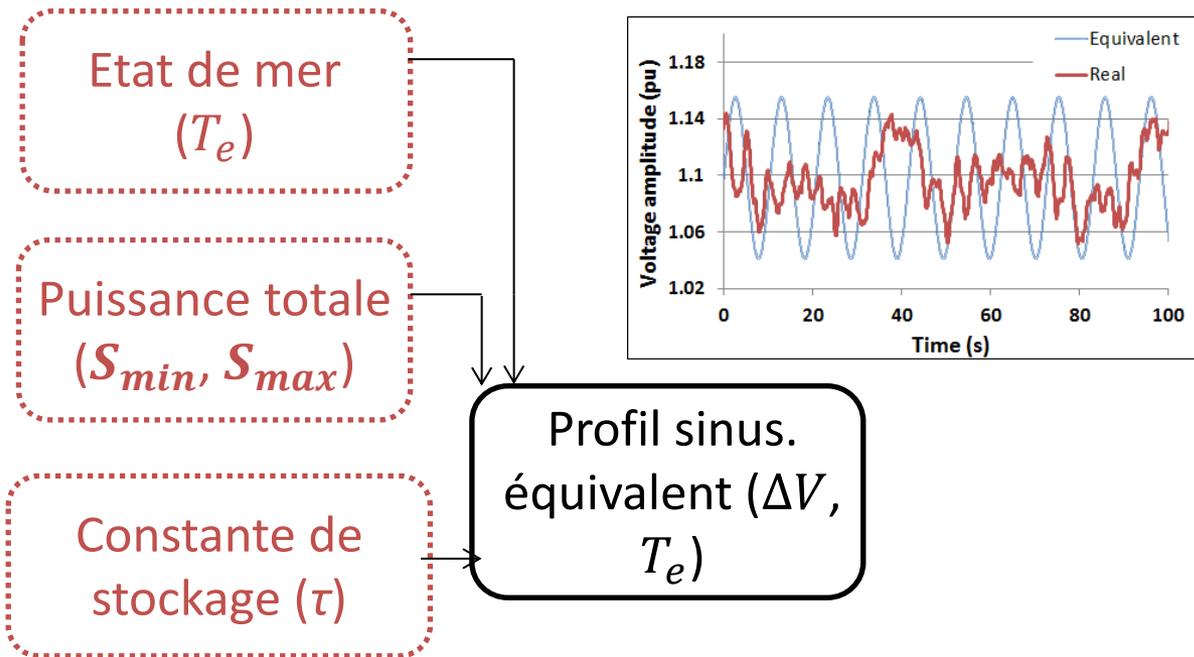
Puissance totale
(S_{min}, S_{max})

Constante de
stockage (τ)

Reference: A. Blavette, D. L. O Sullivan, R. Alcorn, M. G. Egan, T. W. Lewis, "Simplified Estimation of the Flicker Level Induced by Wave Energy Farms", Jan 2016, *IEEE Transactions on Sust. Energy*

Travaux de recherche

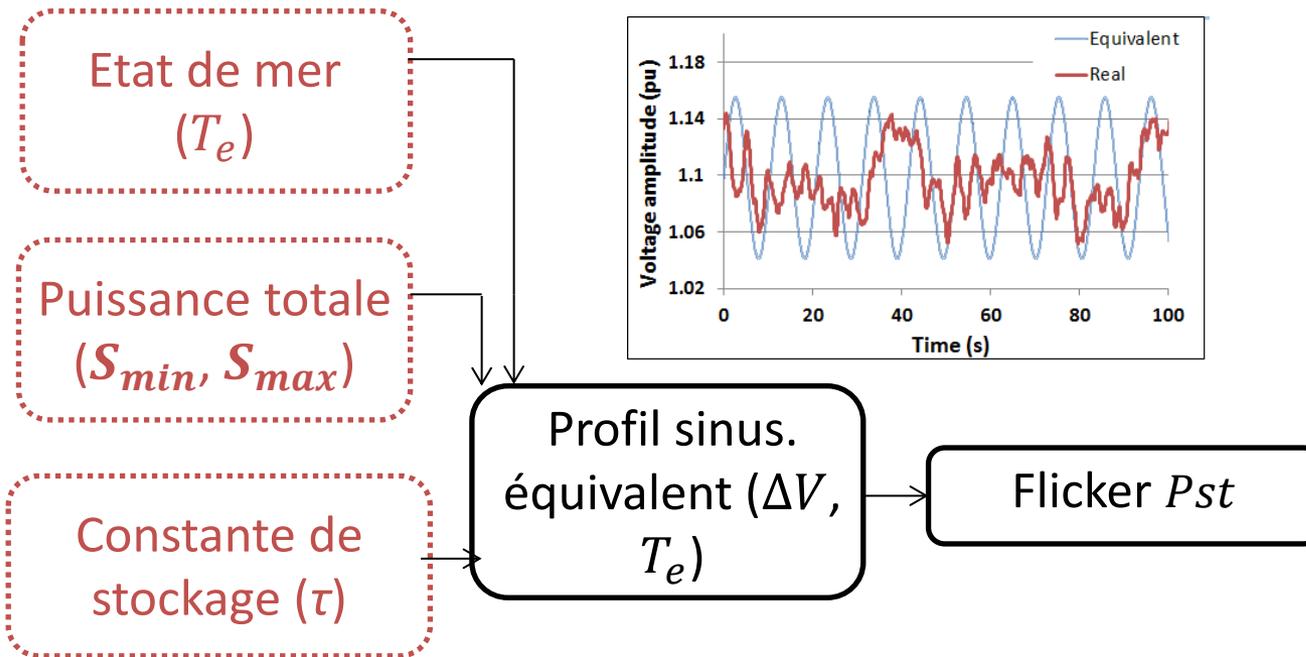
- Modèle générique pour l'analyse de flicker



Reference: A. Blavette, D. L. O Sullivan, R. Alcorn, M. G. Egan, T. W. Lewis, "Simplified Estimation of the Flicker Level Induced by Wave Energy Farms", Jan 2016, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*

Travaux de recherche

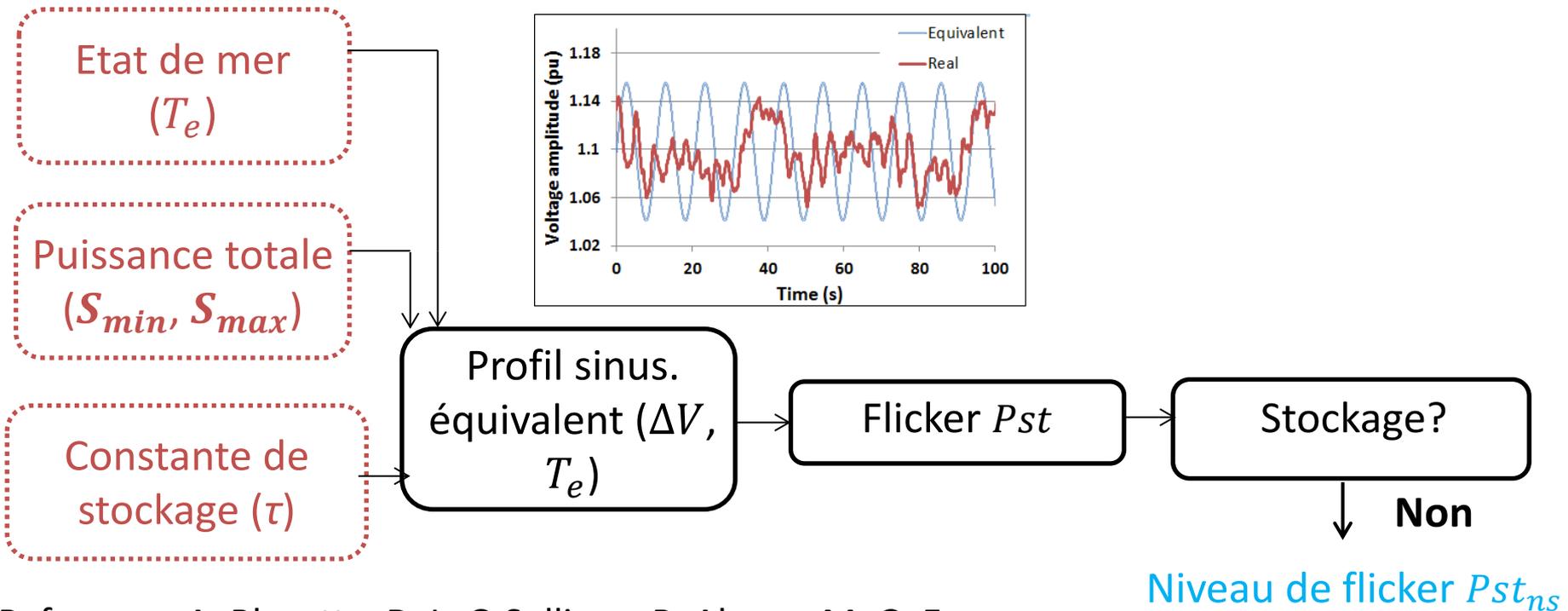
- Modèle générique pour l'analyse de flicker



Reference: A. Blavette, D. L. O Sullivan, R. Alcorn, M. G. Egan, T. W. Lewis, "Simplified Estimation of the Flicker Level Induced by Wave Energy Farms", Jan 2016, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*

Travaux de recherche

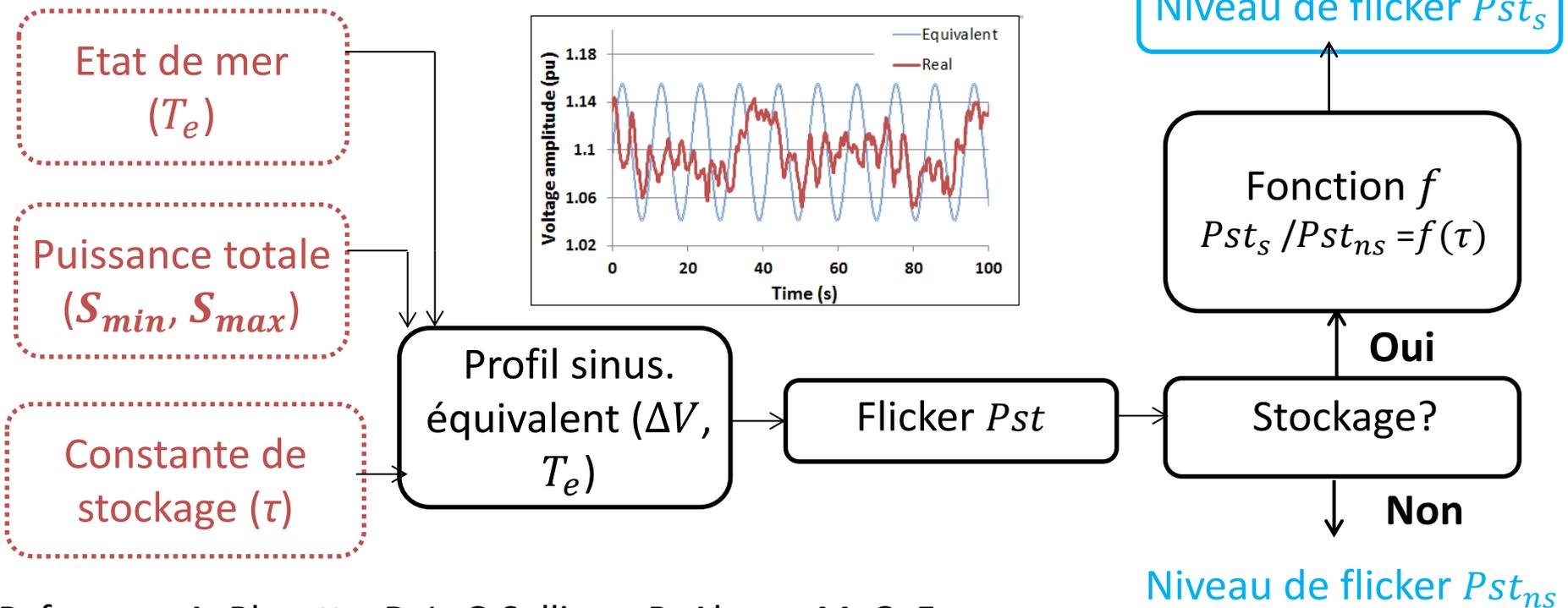
- Modèle générique pour l'analyse de flicker



Reference: A. Blavette, D. L. O Sullivan, R. Alcorn, M. G. Egan, T. W. Lewis, "Simplified Estimation of the Flicker Level Induced by Wave Energy Farms", Jan 2016, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*

Travaux de recherche

- Modèle générique pour l'analyse de flicker



Reference: A. Blavette, D. L. O Sullivan, R. Alcorn, M. G. Egan, T. W. Lewis, "Simplified Estimation of the Flicker Level Induced by Wave Energy Farms", Jan 2016, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*

Merci pour votre attention

anne.blavette@ens-rennes.fr

Note: workshop EWTEC sur le génie électrique et
électronique pour les EMR