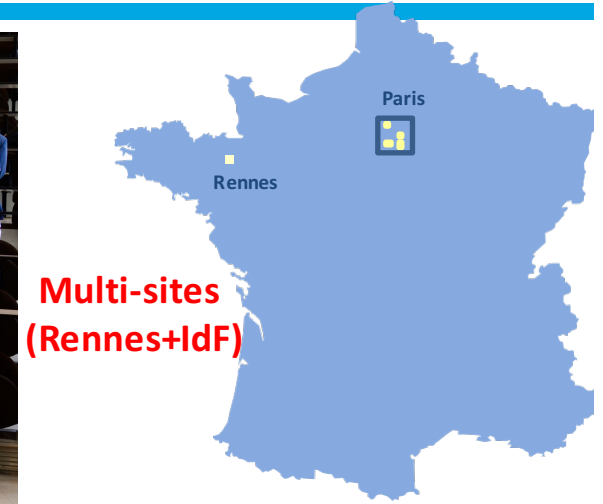


- 192 personnes**
- 76 chercheurs
- 16 ITAs
- 100 Doc. et post-doc.



**Multi-sites
(Rennes+IdF)**

Systemes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Énergie

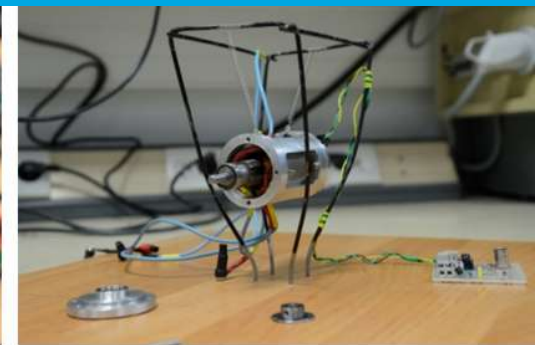
www.satie.ens-cachan.fr



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

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

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



Groupe : *Systemes d'Énergie pour les Transports et l'Environnement*

13 permanents :

2 PU

7,5 MCF (dont 2 HDR)

2 PRAG docteurs

1,5 CR CNRS

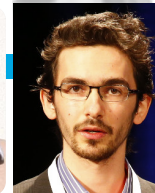
16 doctorants en moyenne

Pot-docs, Qlq. Stagiaires

M2R



Site de Ker Lann :



1 Conception, modélisation et étude des convertisseurs / transducteurs électromagnétiques non-conventionnels

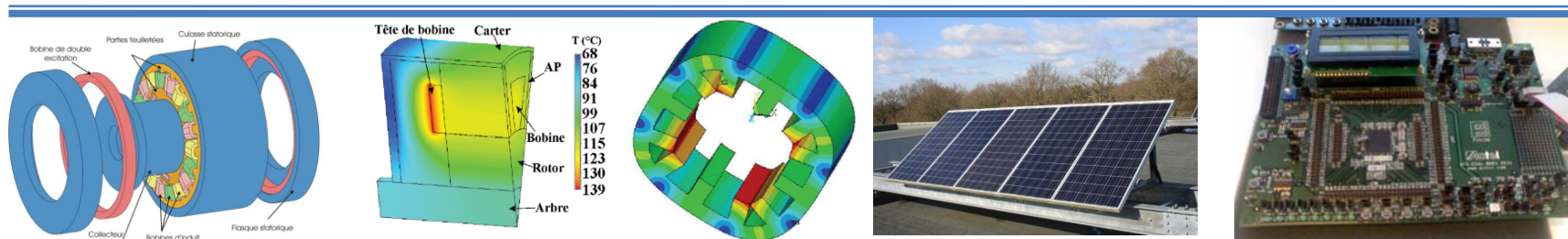
- Invention et Conception de topologies nouvelles
- Conception intégrée et conception fiabilisée
- Méthodes et méthodologies

2 Optimisation des Systèmes de Conversion d'Énergie Soutenable

- Qualité de l'énergie et Intégration au réseau des EnR
- Traitement de la variabilité et de l'incertitude des productions et des consommations
- Stratégie de gestion et co-optimisation des systèmes EnR multi-acteurs sur cycle de vie

3 Stratégies de contrôle de systèmes électriques et architectures matériels associées

- Mise en œuvre d'algorithmes de contrôle sur cibles FPGA haute performance
- Simulation temps réel et développement de modèles TR embarqués (HIL)



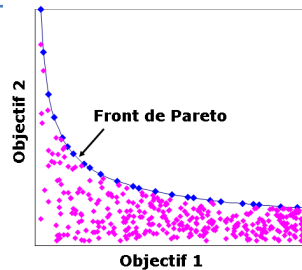
Objectif global : Comment convertir/utiliser l'énergie de manière **efficente** ?

Il s'agira souvent de résoudre un pb. d'optimisation :

$$D_{opt}, u_{opt} / \begin{cases} \min_{D,u} J_1(D, u) \\ \min_{D,u} J_2(D, u) \end{cases}$$

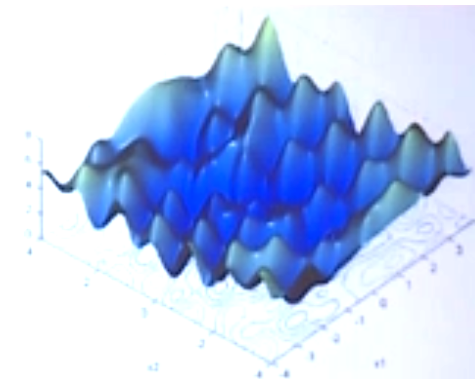
Assujettie à :

$$\begin{cases} D \in [\min; \max] \\ u \in [\min; \max] \\ g_k(D, u) = G_k \\ h_k(D, u) \leq H_k \\ \dots \end{cases}$$




➔ **MODELES adaptés**

- Non-convexe
- Non-linéaire
- Sous contraintes
- Grande dimension
- Evaluation = Coût CPU important



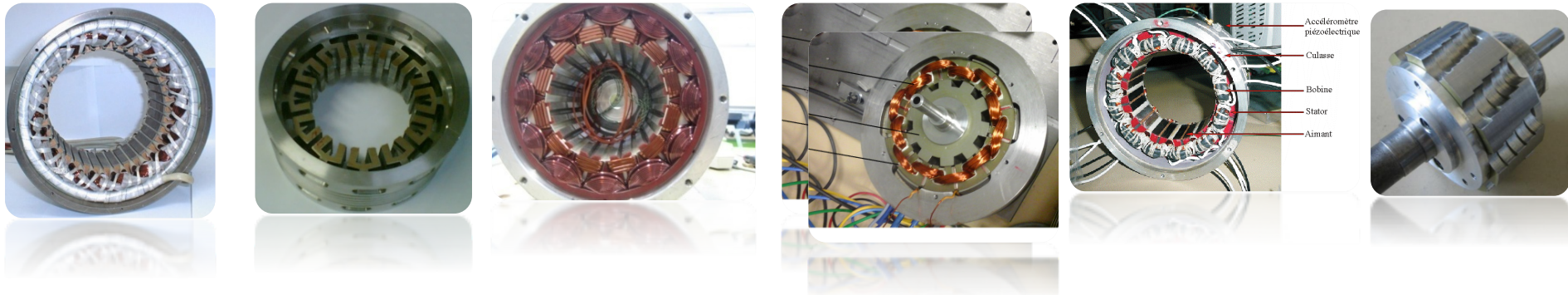
- le dimensionnement optimal dépend de la loi de contrôle
- la loi de contrôle optimal dépend du dimensionnement

Co-optimisation

-  Conception, modélisation et étude des convertisseurs / transducteurs électromagnétiques non-conventionnels

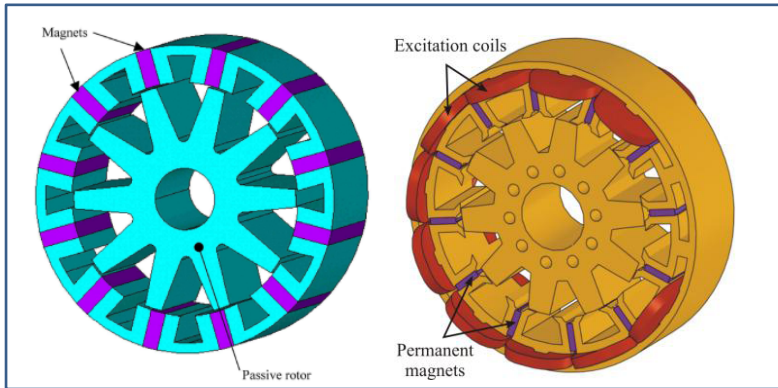
Conception actionneurs/transducteur

- Forte activité d'invention de nouvelles topologies de machines électriques
- Prototypage systématique

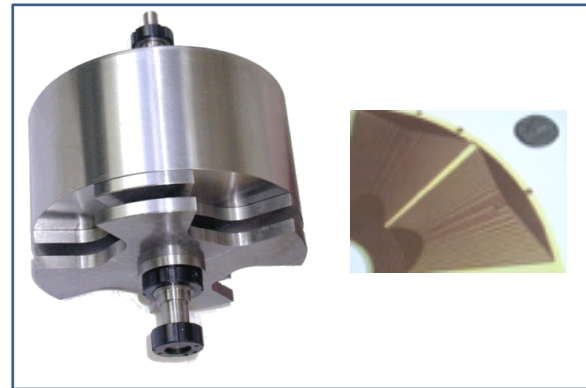


Plus de 15 brevets internationaux déposés

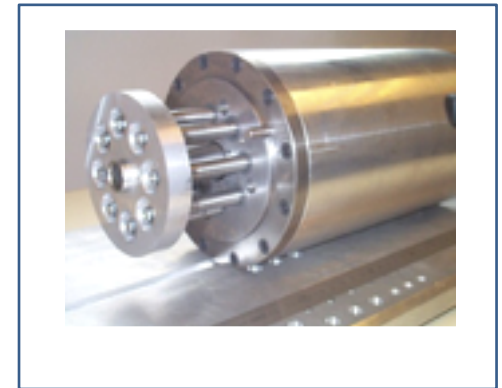
Nouveaux concepts largement diffusés :



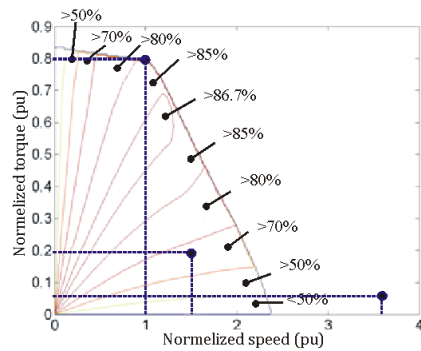
Commutation de flux



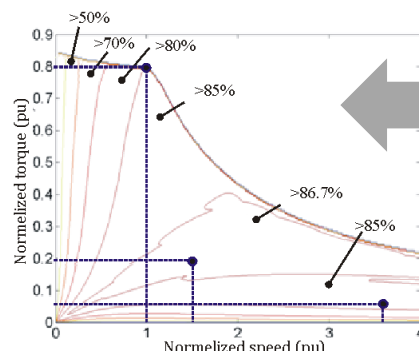
« tout fer tournant »



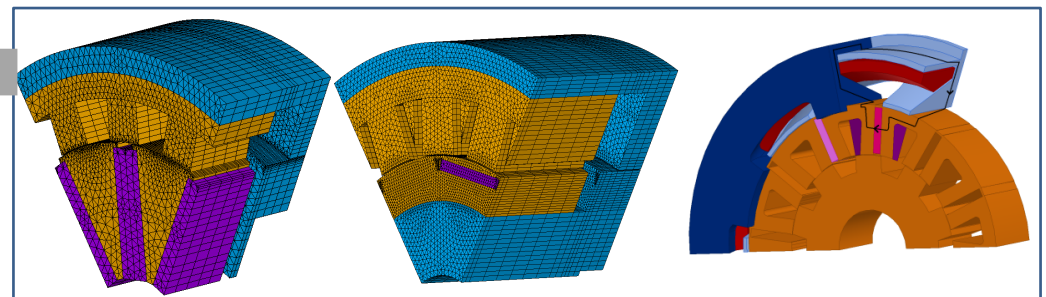
Polyentefer



Classique AP



Double excitation



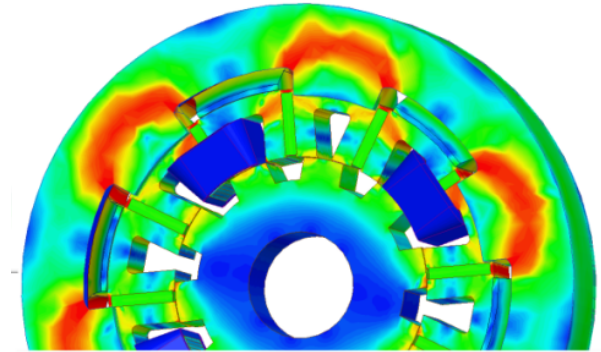
Double excitation

Elaboration de modèles adaptés :

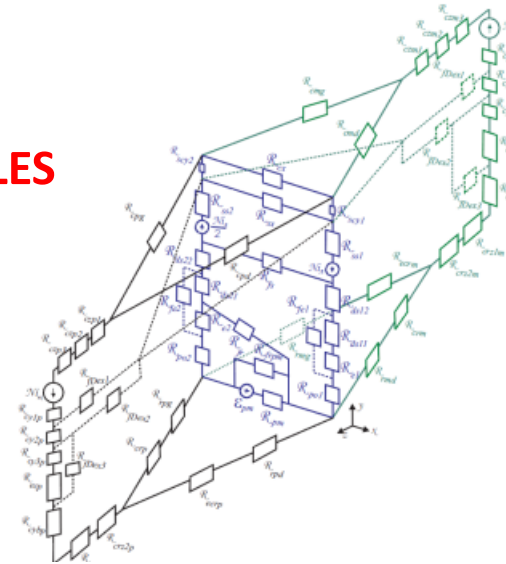
$$D_{opt}, u_{opt} / \begin{cases} \min_{D,u} J_1(D, u) \\ \min_{D,u} J_2(D, u) \end{cases} \rightarrow \text{MODELES}$$

Assujettie à :

$$\begin{cases} D \in [\min; \max] \\ u \in [\min; \max] \\ g_k(D, u) = G_k \\ h_k(D, u) \leq H_k \\ \dots \end{cases} \rightarrow \text{MODELES}$$



Modèle EF 3D

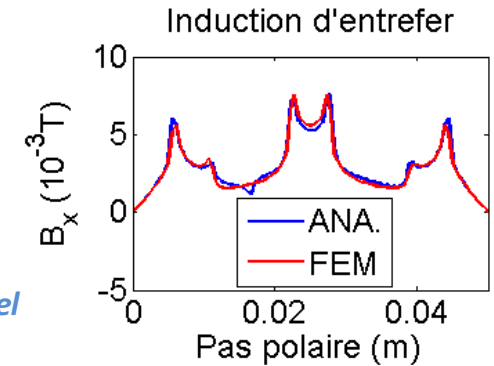
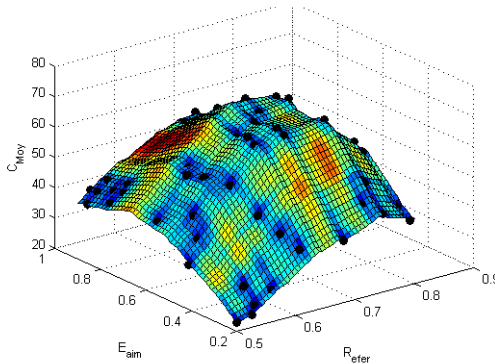


$$A_r(r, \nu) = \sum_{n \geq 1} \left[A_n^{(I)} \left(\frac{r}{R_{re}} \right)^{-n} + B_n^{(I)} \left(\frac{r}{R_{si}} \right)^n \right] \cos(n\nu) + \left[C_n^{(I)} \left(\frac{r}{R_{re}} \right)^{-n} + D_n^{(I)} \left(\frac{r}{R_{si}} \right)^n \right] \sin(n\nu) \quad ($$

Modèle 3D à CR

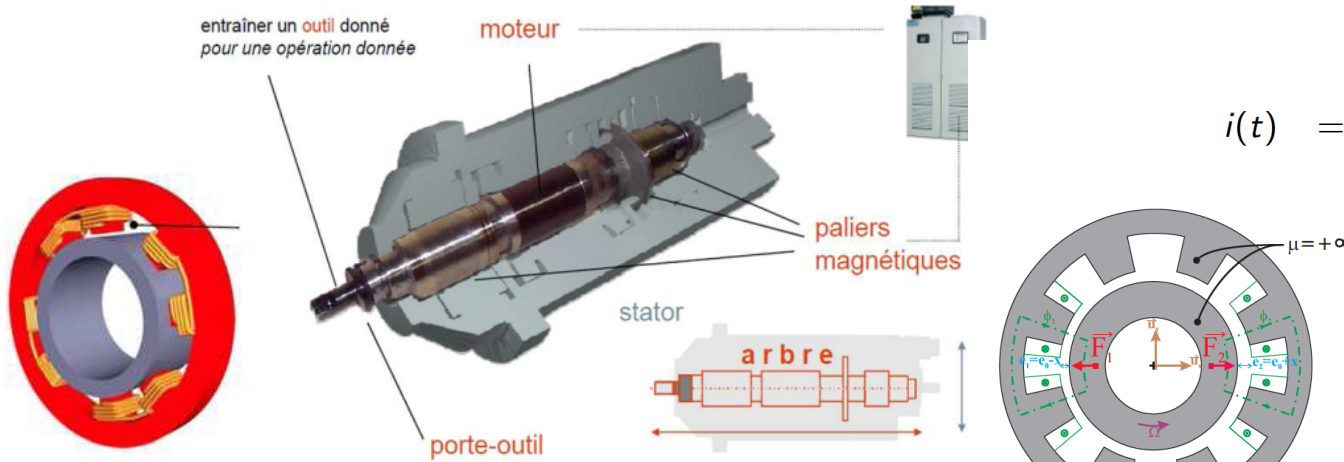
Modèle formel

Création méta-modèles de Krigage



Ex. : Centreur magnétique actif auto-détecteur

Thèse Baptiste CHAREYRON
Coll. SKF/S2M

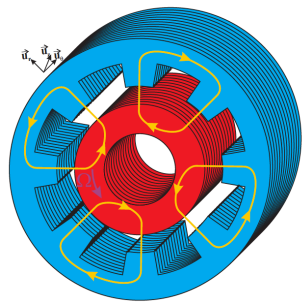
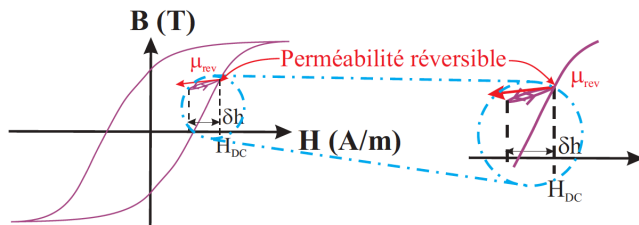


$$i(t) = \overbrace{I_{DC} + i_x(t)}^{\text{Force}} + \overbrace{\delta i \cos(2\pi f_{HF} t)}^{\text{Position}}$$

$$\begin{cases} Z_1(x) = \frac{N_S^2 A \mu_0 \pi f_{HF}}{(e_0 - x)} \\ Z_2(x) = \frac{N_S^2 A \mu_0 \pi f_{HF}}{(e_0 + x)} \end{cases}$$

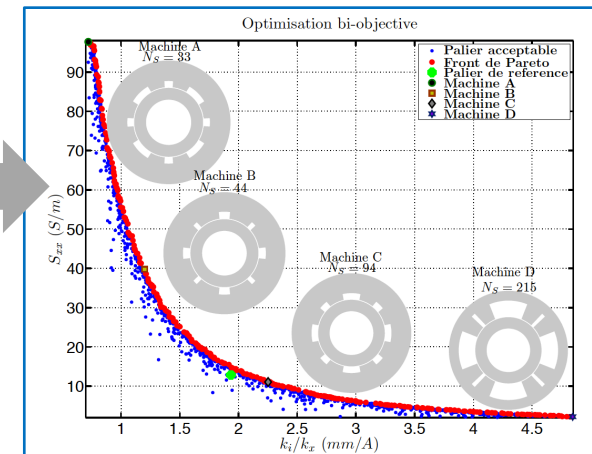
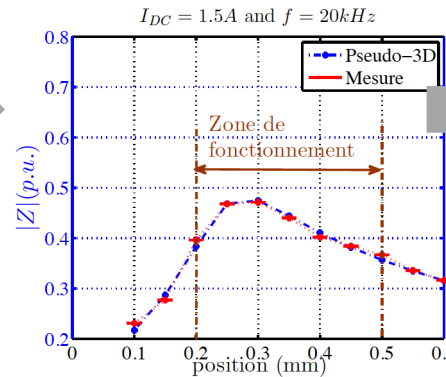
$$Y = \frac{1}{Z_2(x)} - \frac{1}{Z_1(x)} = \frac{2}{N_S^2 A \mu_0 \pi f_{HF}} x$$

$$S_{xx} = \frac{\partial Y}{\partial x} = \frac{2}{N_S^2 A \mu_0 \pi f_{HF}}$$



Équations de Maxwell :

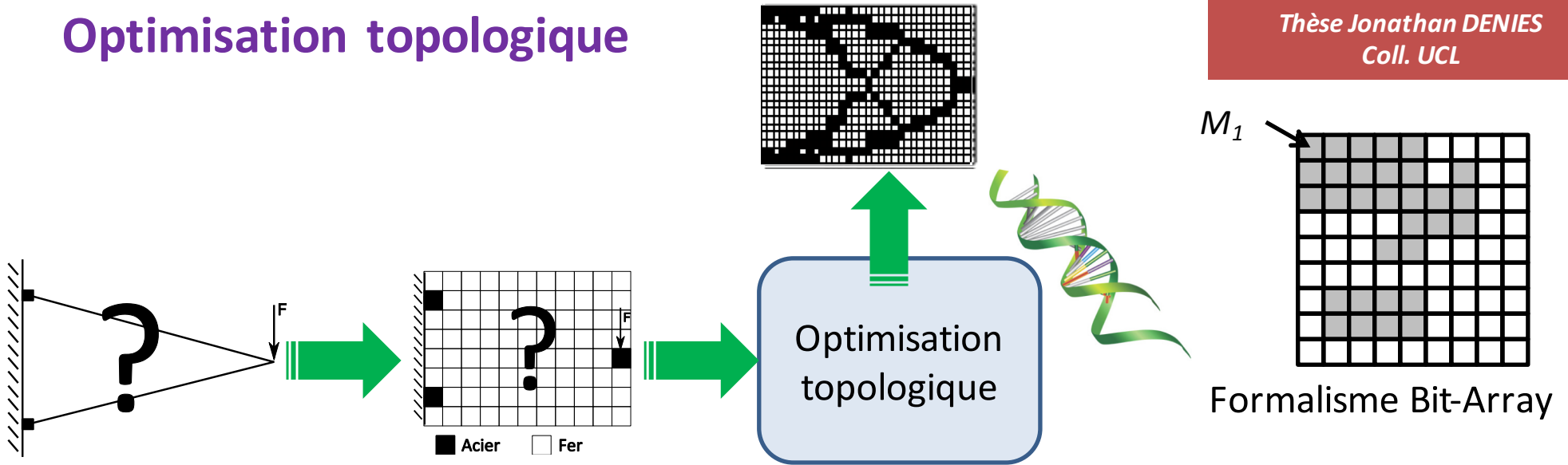
$$\begin{cases} \nabla \times \vec{H} = \vec{J} \\ \nabla \times \vec{A} = \vec{B} \\ \vec{B} = \mu \vec{H} \\ \vec{J} = \sigma \vec{V} \times \vec{B} \end{cases}$$



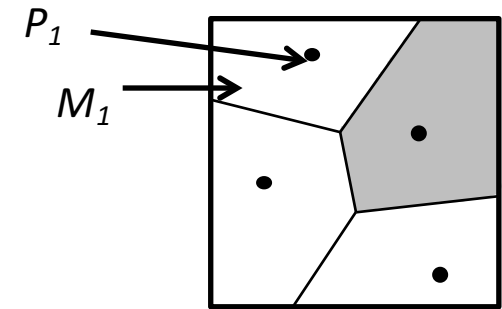
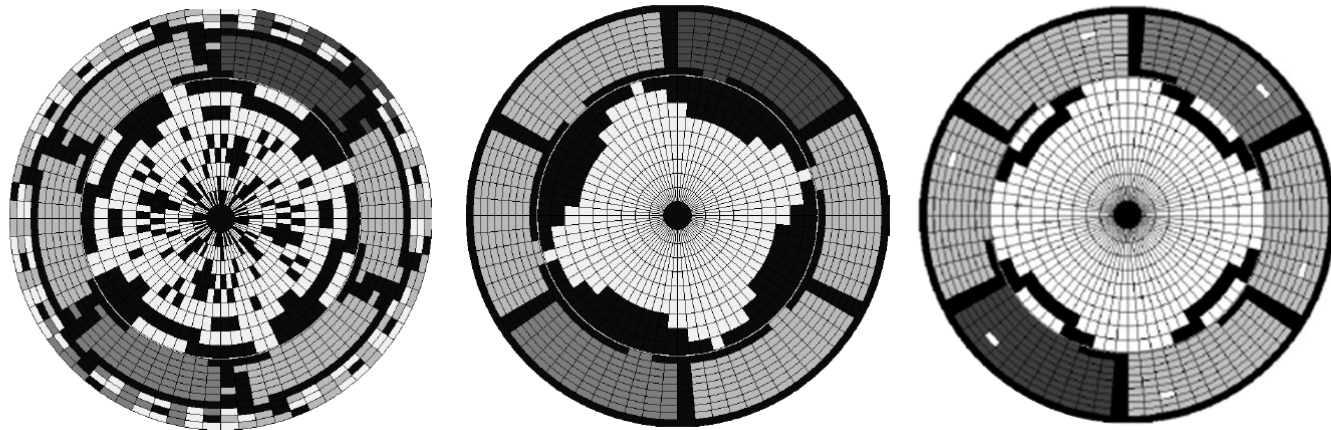
Exemple d'optimisation bi-objectif

Optimisation topologique

Thèse Jonathan DENIES
Coll. UCL



Application aux actionneurs :



Formalisme Voronoï



Approche système

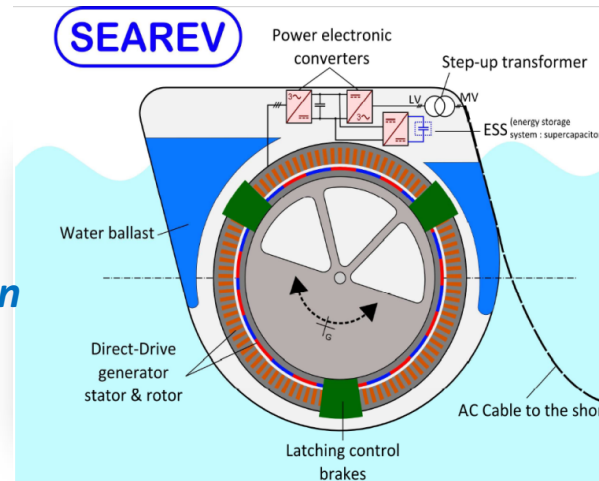
- Modèles « système »
- Couplage multi-physique
- Cycle de vie

$$D_{opt}, u_{opt} / \begin{cases} \min_{D,u} J_1(D, u) \\ \min_{D,u} J_2(D, u) \end{cases}$$

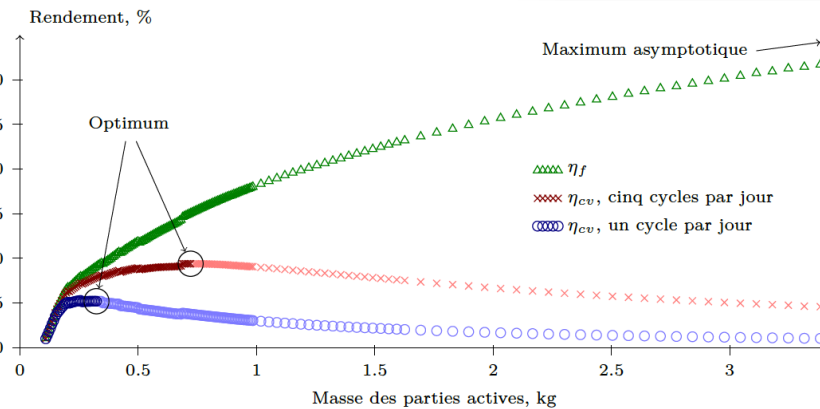
Assujettie à :

$$\begin{cases} D \in [\min; \max] \\ u \in [\min; \max] \\ g_k(D, u) = G_k \\ h_k(D, u) \leq H_k \\ \dots \end{cases}$$

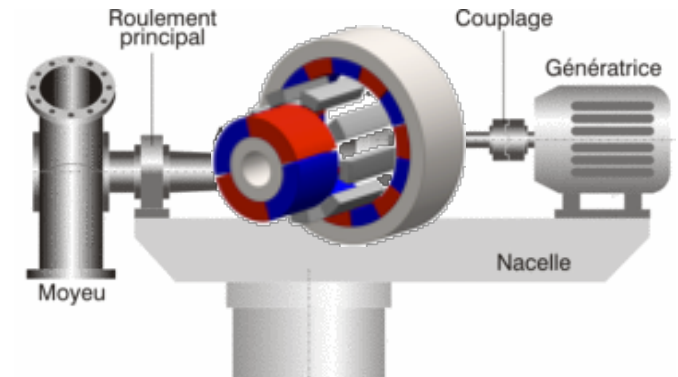
houlogénération



- Dimensionnement
- Contrôle optimal
- Vieillesse en cyclage
- Stratégie de Lissage (flicker)



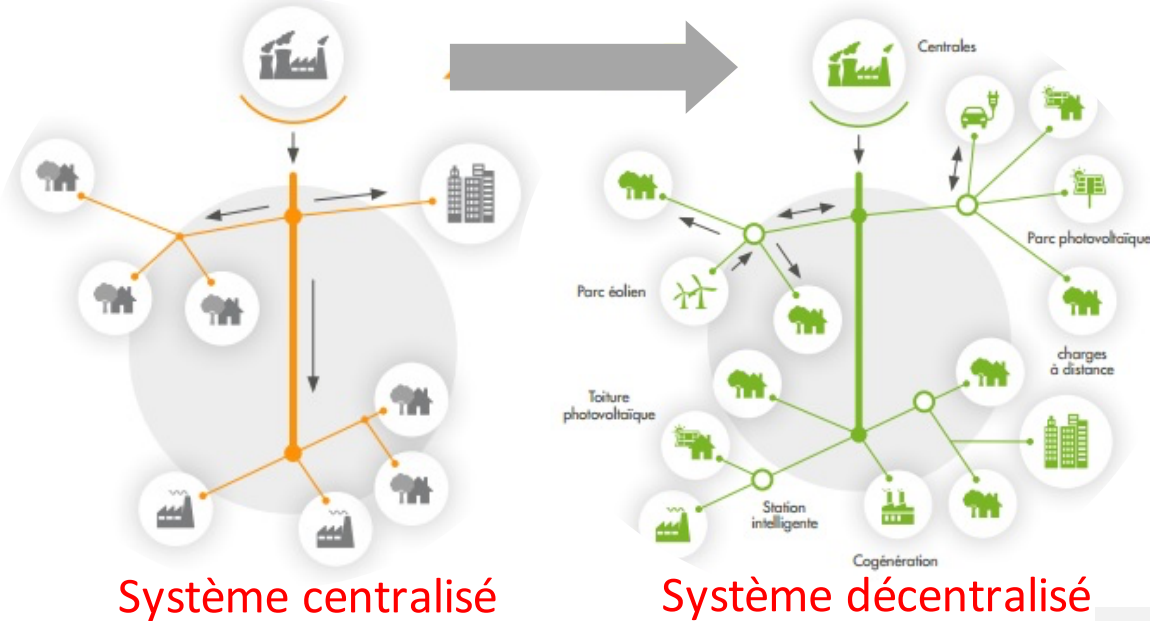
Entrainement domotique



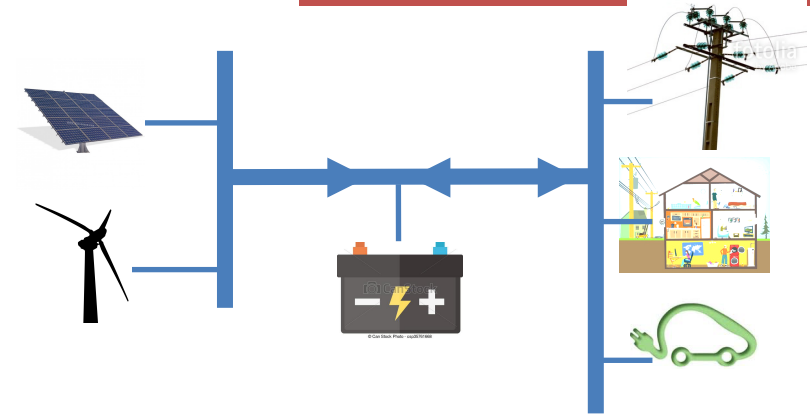
Chaîne éolienne forte puissance

Thèses Marie RUELLAN
Judicaël AUBRY
Vincent DEBUSSCHERE
Thibaut KOVALTCHOUK
Melaine DESVAUX
Coll. EC Nantes, Jeumont

Optimisation des Systèmes de Conversion d'Énergie Soutenable



Thèses Olivier GERGAUD
Yaël THIAUX
Marianne LOSSEC
Pierre HAESSIG
Roman LE GOFF LATIMIER



Système simplifié

Problématiques :

- **Modèles des composants et du système**
- **Modèles des ressources et des charges (agents)**
- **Critères et outils de dimensionnement optimisé**
- **Lois et mécanismes de gestion**
- **Grande dimension**
- **Échange d'information**
- **Robustesse, viabilité**

Plateforme EnR Ker Lann



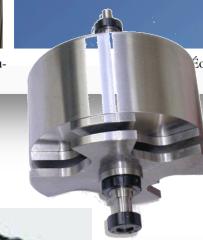
(a) 2 kW, de panneaux PV Silicium polycristallin

(b) 10 kWh de stockage Li-ion



(c) Convertisseurs statiques : onduleur et hacheurs MPPT

Éolienne 750 W



Volant d'inertie

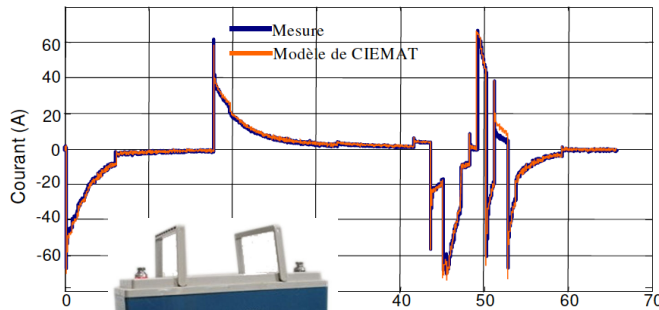


NaS



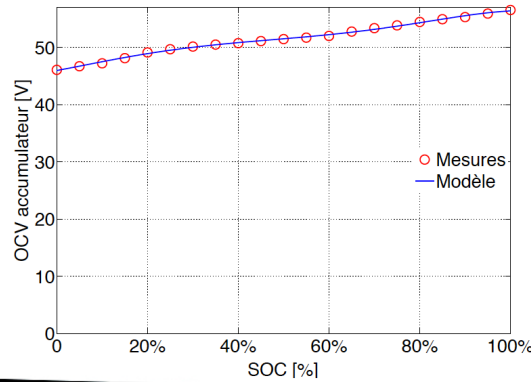
Super Capacité

Modèles composants :



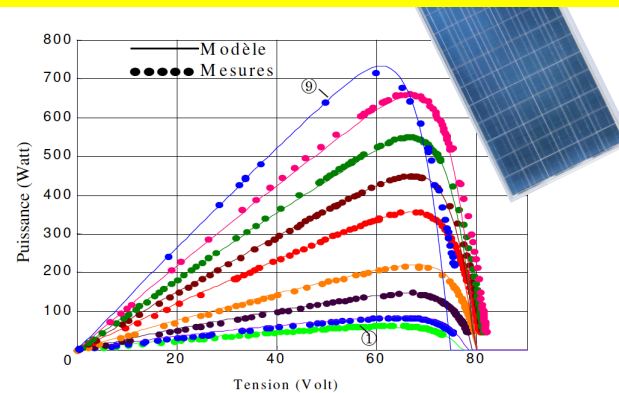
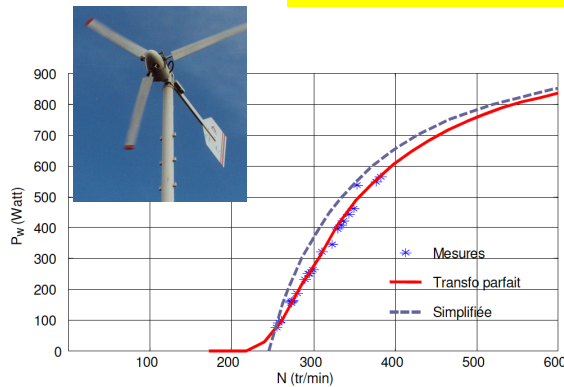
ps (heure)

Plomb - Acide

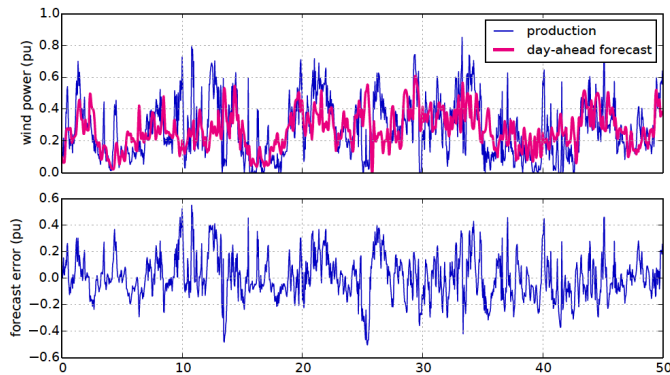


Li-Ion

+Modèles de vieillissement
+Modèles de coûts énergétiques sur cycle de vie

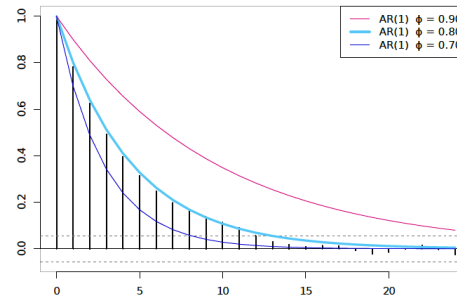


Modèles des erreurs de prévision :

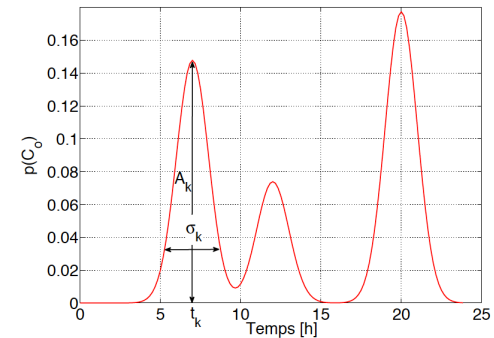


Production vs prévision éolien

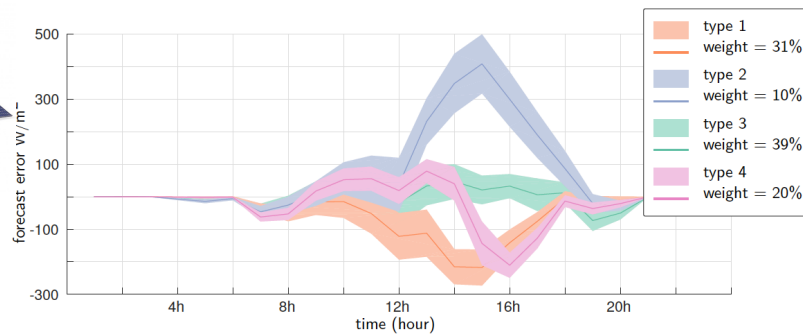
Erreurs de prévision = autocorrélées



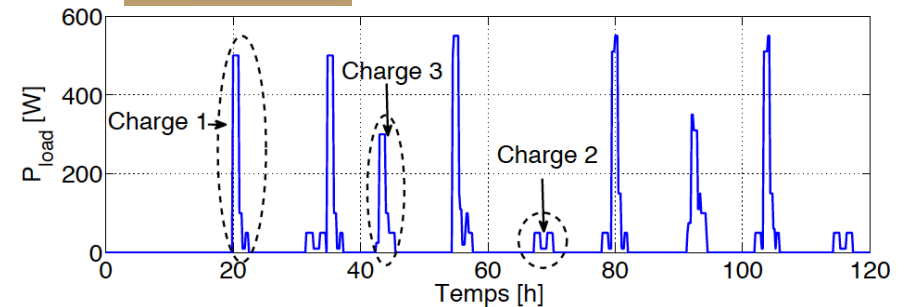
$$P_{mis}(k) = \phi P_{mis}(k-1) + \varepsilon(k)$$



Clustering des trajectoires d'erreur



Classes d'erreurs de prévision PV

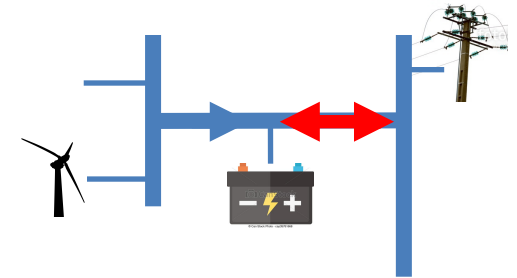
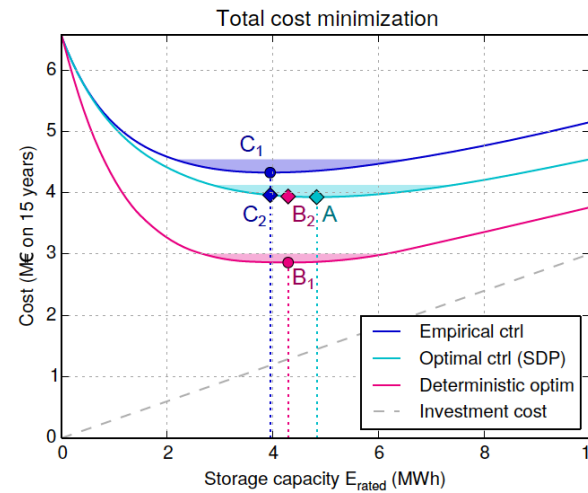
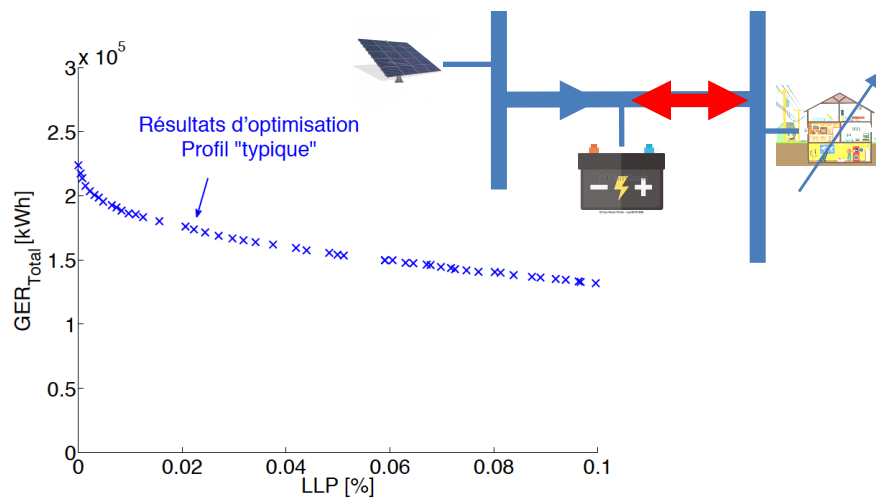
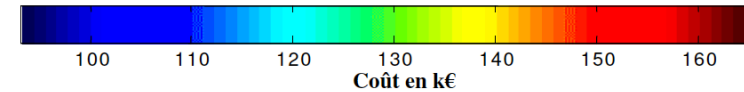
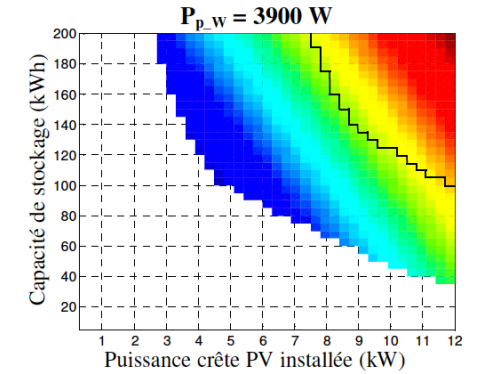
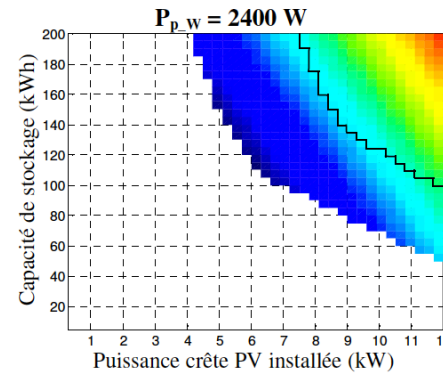
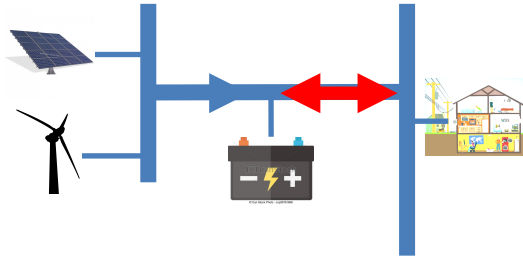


Modèle aléatoire de consommation

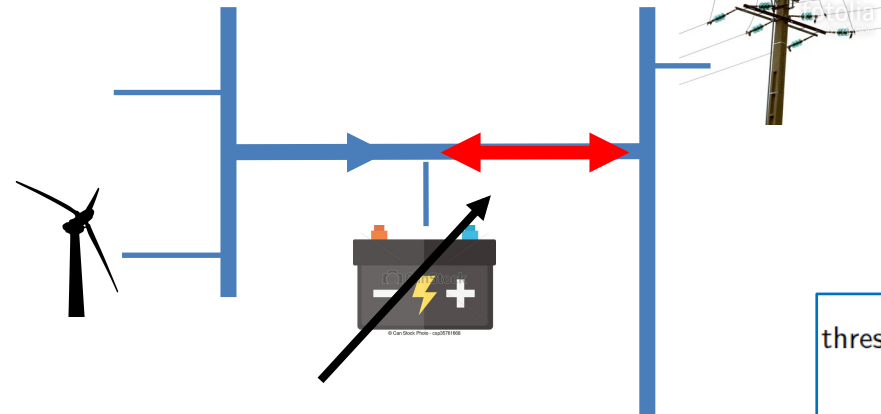
Dimensionnement optimisé

$$D_{opt}, u_{opt} / \begin{cases} \min_{D,u} J_1(D, u) \\ \min_{D,u} J_2(D, u) \end{cases}$$

Sous contraintes



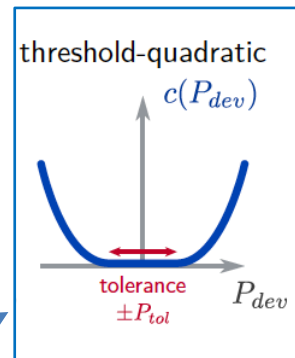
Gestion stochastique :



$$P_{dev} = [P_{prod} - \tilde{P}_{prod}] - P_{sto}$$

Erreur de prévision : P_{mis}

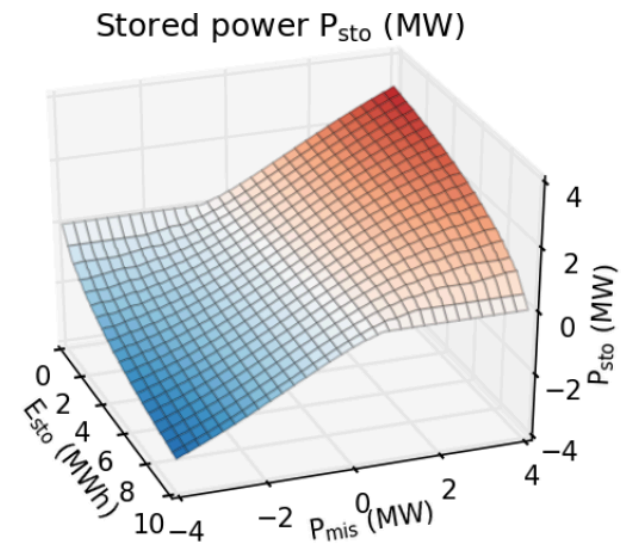
Pour un pb stochastique :



$$J_k(x_k)^* = \min_{u_k \in U(x_k)} \mathbb{E}_{w_k} \left\{ \underbrace{c(x_k, u_k, w_k)}_{\text{coût de l'instant}} + \underbrace{J_{k+1}^*(f(x_k, u_k, w_k))}_{\text{coût du futur}} \right\}$$

état futur x_{k+1}

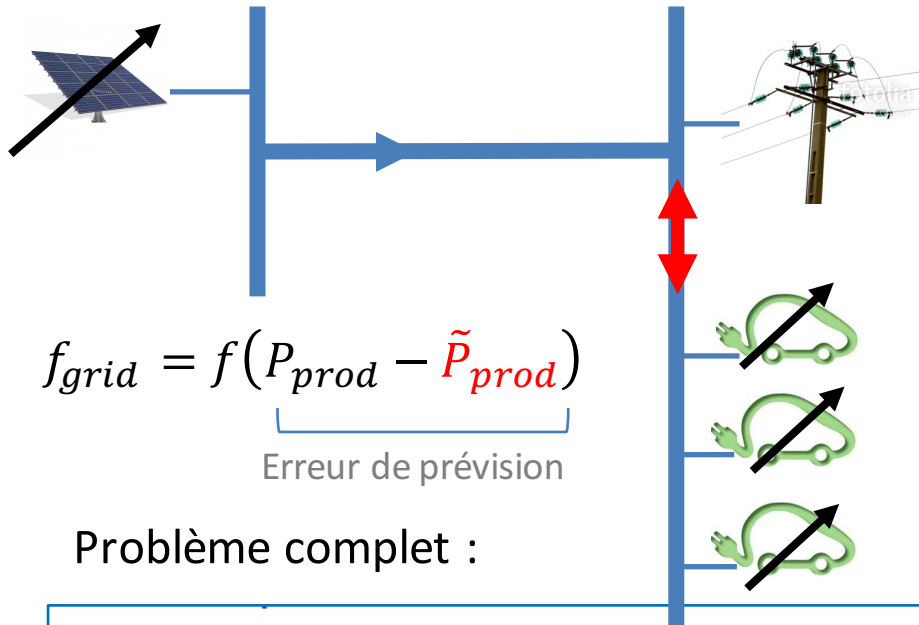
- Série temporelle
- Dynamique : $E(t + \Delta t) = E(t) + P_{sto} \Delta t$
- Erreurs de prévision : **autocorrélées**



Calculée hors ligne

Résolution par Programmation Dynamique Stochastique (SDP)

Gestion stochastique distribuée :



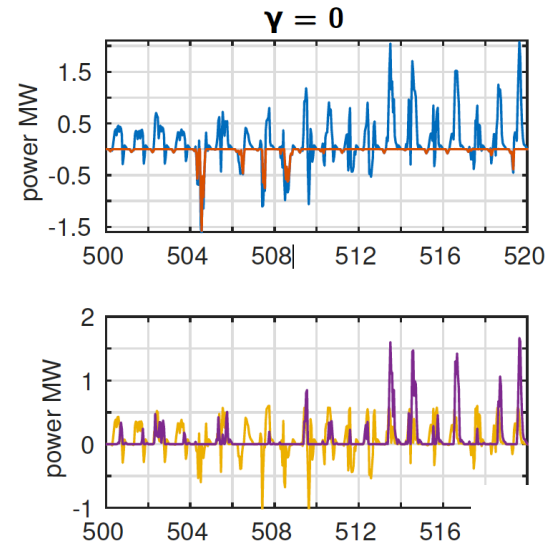
$$f_{grid} = f(P_{prod} - \tilde{P}_{prod})$$

Erreur de prévision

Problème complet :

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

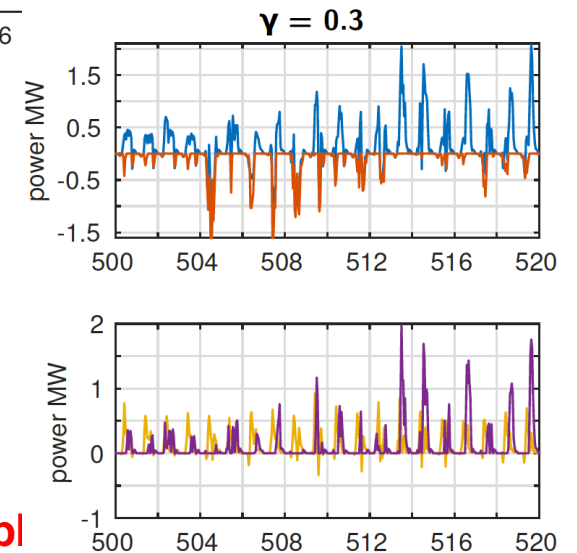
Résolution en deux niveaux par Alternating Direction Method of Multipl
(ADMM) +SDP



On privilégie l'engagement

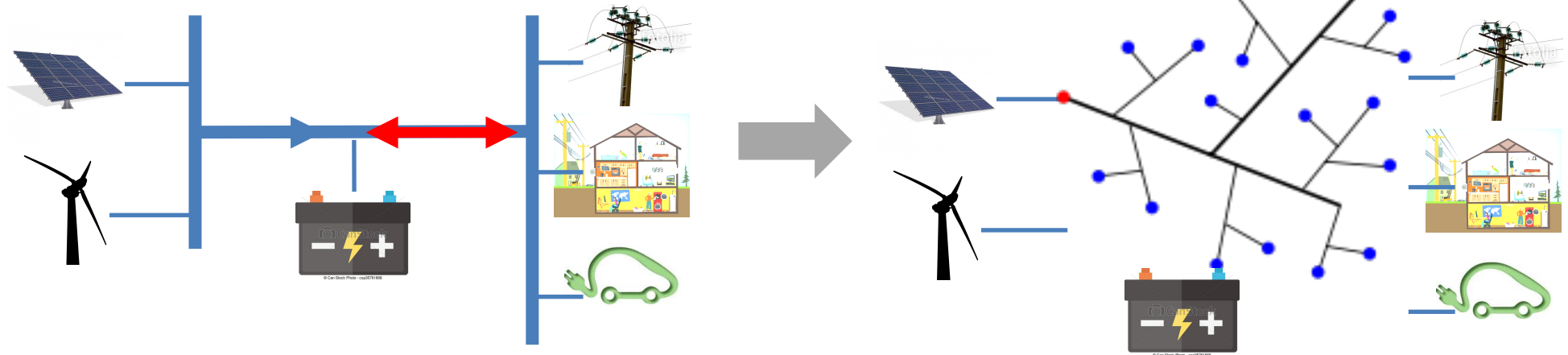
— rough commitment mismatch
— after management

— stored power
— spilled power



Cas intermédiaire

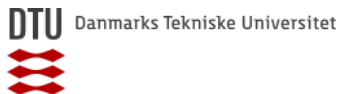
Extension à un réseau réel :



- **Marché Peer to Peer**
- **Syst. adaptatifs multi-agents**

*Thèses Thomas BAROCHE
Baptiste BLANC-ROUCHOSSÉ
Coll. DTU, IRIT*

- **Faisabilité**
- **Impact des contraintes réseau**
- **Mécanismes de gestion autonome**
- **Grande dimension**
- **Transit d'information, pb de confidentialité, qualité**



Rennes Grid



Conception Modèles Vieillessement
 Transducteur Modèles électromagnétiques
 Équations de Maxwell
 Résolution formelle Éléments finis
 Smart Grid Série temporelle
 Stochastiques
 Stratégie de gestion Système
 Dimensionnement
 stockage
 Flexibilité
 Erreurs de prévision Cycle de vie
 Énergie renouvelable
 Grande dimension Couplage multi-physique

Actionneurs nc Réseaux Optimisation