

- **Sujet :** *Modeling and optimizing a distributed power network : A complex system approach of the 'prosumer' management in the smart grid*
- **Axe 1 :** Etude de la formation de coalitions de prosumers
- Publications :
 - ▶ *Coalition Formation Algorithm of Prosumers in a Smart Grid Environment*, IEEE ICC 2015
 - ▶ *Stability and Performance of Coalitions of Prosumers Through Diversification in the Smart Grid*, Transactions on Smart Grid (en cours de révision)
- **Axe 2 :** Etude du contrôle d'un réseau électrique de prosumers
- Publications :
 - ▶ *Control of Prosumer Networks*, finalisation d'écriture

- **Prosumer** = Agent consommant et produisant de l'électricité
- Son objectif = optimiser ses bénéfices/dépenses et son utilisation de l'électricité

Pourquoi former des coalitions ?

- DER = *Distributed Energy Resources*
- **Stabiliser** les DER basés sur des énergies intermittentes
- **Décentraliser** la production
- **Rapprocher** la production de la consommation
- Permettre aux prosumers de **participer** en s'agrégeant
- Améliorer la **visibilité** des DER

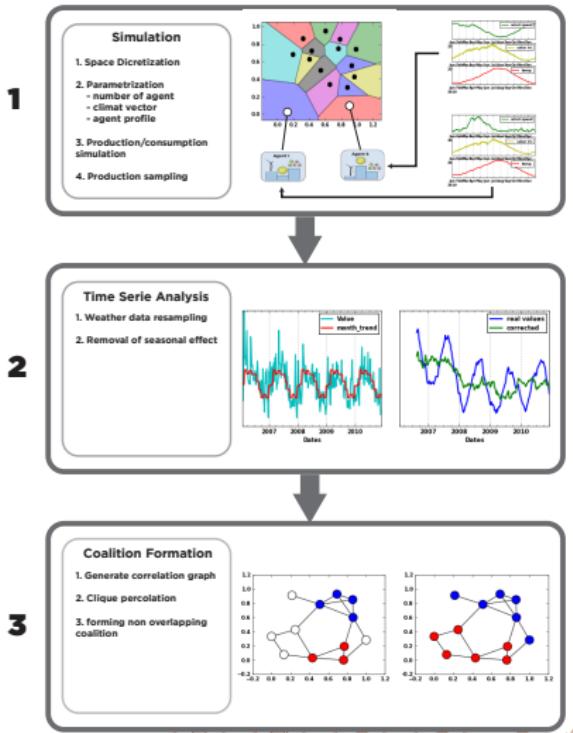
Objectifs de l'étude

Objectifs :

- Construire un **modèle réaliste** de prosumer basé sur des données réelles
- **Simuler** le comportement de ces prosumers sur une période donnée
- Autoriser les prosumers à **vendre leur surplus** de production à l'opérateur de réseau
- **Restreindre** l'accès au marché à des entités suffisamment **productrices et stables**
- **Définir** une notion statistique de la **stabilité** d'une coalition
- Élaborer un **processus de formation** de coalitions de prosumers stables
- Montrer l'efficacité de ce processus

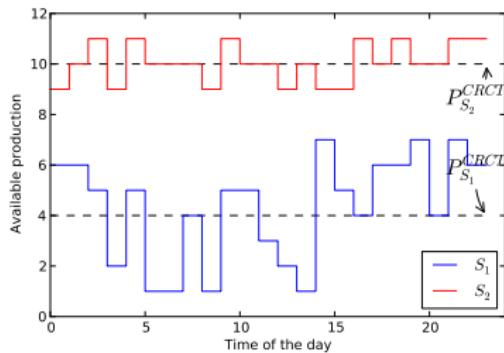
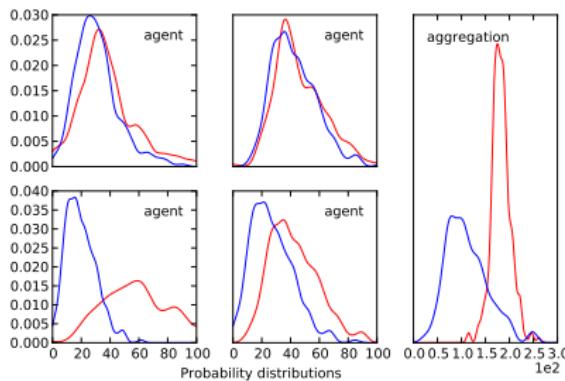
Modélisation des prosumers

- **But** : Obtenir un large spectre de profils de consommation / production
- Utilisation de **données météorologiques** (Vitesse du vent, Ensoleillement, Température)
- **Discrétisation** de l'espace autour des stations
- Prosumers disposés aléatoirement
- Pour tout agent i , on note $P_i(t)$ la **production instantanée** (en W) disponible à l'instant t
- $P_i(t)$ est la différence entre la production absolue de i et sa consommation
- Les traces $P_i(t)$ sont obtenues par simulation



Contrats de production

- Les coalitions sont formées pour le "jour J+1"
- Pour entrer sur le marché, une entité S doit estimer et annoncer une valeur de contrat P_S^{CRCT}
- Volatilité de la production et de la consommation
- Un algorithme interne à la coalition doit maintenir $P_S(t) = P_S^{CRCT} \forall t$ (batteries, charges différentes, générateurs de backup...)
- Moins S dévie de P_S^{CRCT} , plus le maintien de S est aisé et peu couteux
- Parallèlement, plus P_S^{CRCT} est élevé, plus S produit sur le marché
- L'opérateur contrôle l'accès au marché : seuil P^{MIN} de production, seuil ϕ de stabilité



Utilité et remarques

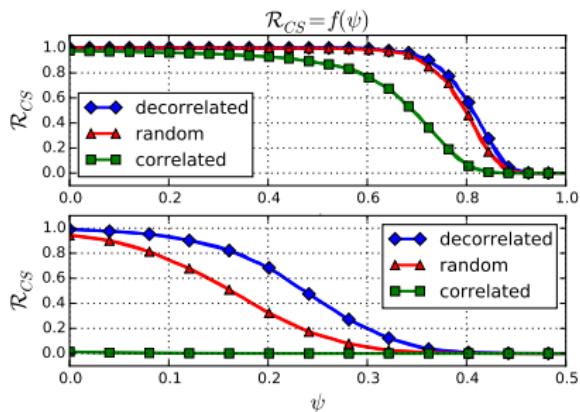
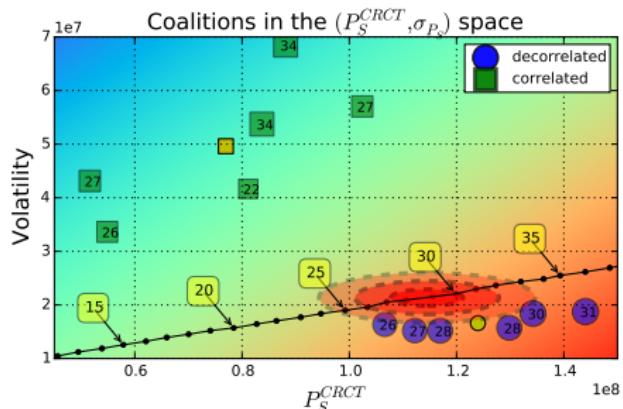
- Si la variance de P_S est faible, le risque lié à un contrat P_S^{CRCT} est aussi faible
- La corrélation entre les $P_{i \in S}$ des agents joue un rôle important
- On souhaiterait diversifier les profils au sein des coalitions afin de minimiser la corrélation
- Optimisation : algorithme greedy basé sur les graphes de corrélation
- En supposant que l'on souhaite N_{COAL} coalitions de prosumers, on souhaiterait :

$$\arg \min_{\substack{S \subseteq CS \\ |S|=N_{COAL} \\ \forall s \in S, |s| \neq 0 \\ P_s^{CRCT} \geq P^{MIN}}} \sum_{s \in S} \Pr[P_s \leq P_s^{CRCT}]$$

- Pour une coalition s , sous les règles P^{MIN} et ϕ , on définit une fonction d'utilité :

$$\mathcal{U}_{\phi, P^{MIN}}(s) = \mathbf{1}_s \text{ valid} \frac{P_\phi(s)}{|s|}$$

Résultats



- Coalitions dans l'espace production / volatilité

- Resilience lors de pannes aléatoires des prosumers

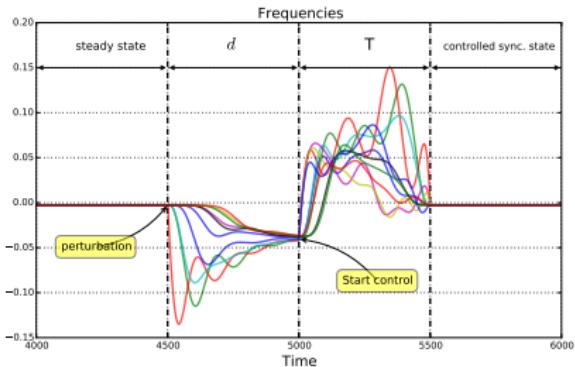
Axe2, Contrôle d'un réseau de prosumers

- Synchronization des machines à la fréquence 50Hz
- Modélisation du réseau par un modèle de Kuramoto (2nd ordre)

$$\forall i, \ddot{\theta}_i = \psi_i - \alpha \dot{\theta}_i + \sum_j K_{ij} g_{ij} \sin[\theta_j - \theta_i]$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{41} & 0 & 0 & a_{34} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{55} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_2 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & b_5 \end{bmatrix}$$
$$\dot{x} = Ax + Bu$$

- La dynamique peut s'écrire $\dot{X} = AX + Bu(t)$
- A encode la dynamique du système ainsi que les paramètres
- X représente le vecteur augmenté des variables d'états (angles de phase et fréquences)
- B est la matrice de contrôle stipulant quels noeuds du réseau sont contrôlés
- $u(t)$ sont les signaux de contrôle



Contrôle et contrôle optimal :

- B permet le contrôle du système si celui-ci peut être piloté de tout état initial X_0 à tout état final X_f grâce à une suite de signaux $u(t)$
- Plusieurs controls possibles
- Contrôle optimal : $u^*(t)$ minimisant un certain coût $C(u)$
- Exemple : énergie de contrôle : $C(u) = \int_{t_0}^{t_f} \|u(t)\|^2 dt$

Quelques problématiques de notre cas d'étude :

- Quels contrôleurs faut-il choisir pour que le système soit contrôlable ? Avec le minimum d'énergie (en moyenne) ?
- Prosumers = producteurs et/ou consommateurs ==> générateurs et charges non fixes dans le réseau
- Optimisation dans des réseaux de grandes tailles

Approche utilisée

- Matrice Gramienne $W(T) = \sum_{k=0}^T A^k BB^T (A^T)^k$
- Lien entre le contrôle optimal $u^*(t)$, W, et les fonctions sous-modulaires
- Utilisation d'un algorithme greedy avec garantie pour l'optimisation
- Prise en compte de contraintes :
 - ▶ Capacités des lignes
 - ▶ Capacités et taux de charge/décharge des batteries

