

# Approche système complexe pour la modélisation des SMART GRIDS

### **Problématique**

### Sujet de thèse:

Optimisation dans les réseaux complexes

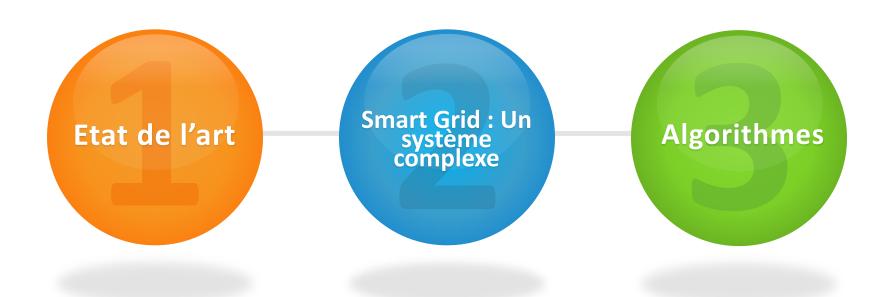
### **Problématique:**

Optimisation de la diffusion de l'énergie dans les Smart Grids. Gestion de la production, de la consommation et de la distribution d'une ressource commune.

### **Optimisation multicritères:**

- Résilience
- Fiabilité
- Réduction des couts (transfert, production, consommation)
- Régulation de l'offre et la demande

### **Smart Grid**



Approche système complexe pour la modélisation des Smart Grids



### Etat de l'art

- I. Demande industrielle
- II. Approche scientifique
- III. Ouverture sur les systèmes complexes

Les besoins et les attentes du réseau électrique moderne

### I. Demande industrielle

**Amélioration** de l'Energy Grid basé sur la conception de Nikola Tesla de 1888 :

- Intégration des nouvelles technologies et services
- Défauts structurels : intégration des EnR, conservation de l'énergie, gestion du numérique et de l'analogique
- Défauts de consommation : congestion et pertes T&D, rentabilité des centrales de proximité, latence du réseau (demande-réponse)



### Les **objectifs et rôles** du Smart Grid sont :

- Lisser la courbe de consommation
- Optimiser la production et la consommation
- Améliorer la fiabilité

### I. Consommation et exploitation des données



La consommation actuelle est transformée en statistiques permettant de prévenir la consommation future. La consommation est en temps réel La modification de la production énergétique se planifie sur une journée.

### I. Consommation et méthode d'effacement

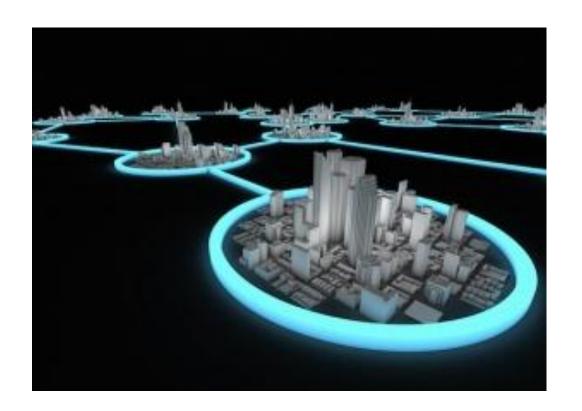


Un effacement de consommation consiste à ne pas consommer d'électricité pendant une certaine durée, ou bien à la reporter.

### **Enjeux:**

- Faire correspondre l'offre et la demande
- Réguler la courbe de consommation

### II. Caractéristiques du Smart Grid



Le **Smart Grid** possède les caractéristiques suivantes :

- Self-Healing
- Flexibilité
- Prédictive
- Interactivité
- Optimal
- Sécurité

20% de consommation en moins prévu pour 2020

### II. Simulations existantes

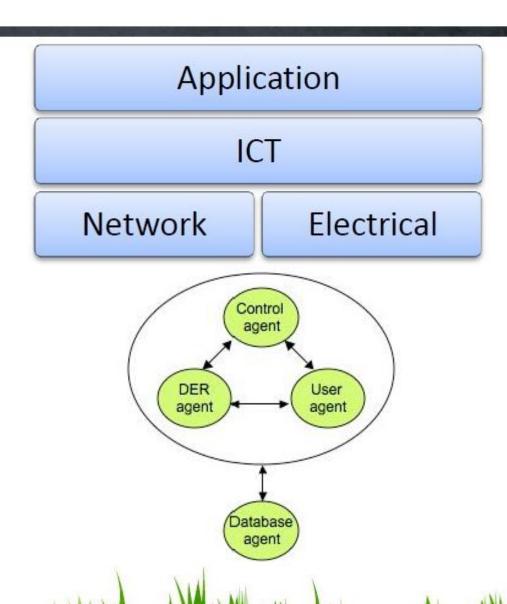
Ils existent peu de simulations de Smart Grid.

### Modélisation générale :

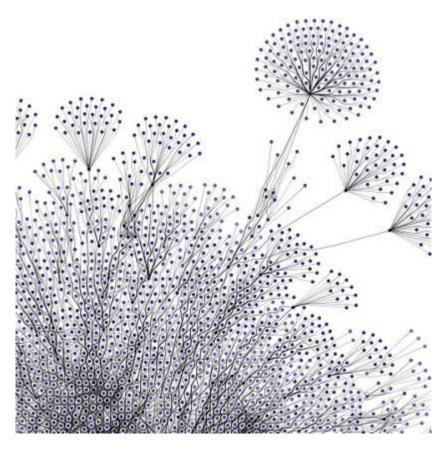
- Trois couches
- Quatre types d'agents.

### Inconvénients:

- Calculs complexes (explosion combinatoire)
- Stockage de données souvent peu utiles
- Simulation spécifique à une situation donnée et des paramètres donnés.



### III. Approche système complexe



Un système complexe est un système constitué d'un grand nombre d'entités en interaction mutuelle.

Il s'adapte aux pressions interne et externe pour maintenir ses fonctionnalités.

Son comportement et son évolution ne sont pas prévisible par le calcul. Le seul moyen de connaître l'évolution du système est de faire l'expérience.

### III. Entropie et approche holistique



Le système est plus complexe que la somme de ses sous-systèmes.

L'étude d'un phénomène complexe nécessite une approche holistique et non localisée.

**Expérience**: On conçoit un certain nombre de règles d'évolution, puis l'on simule le système en itérant ces règles jusqu'à obtenir un résultat structuré.



# Smart Grid: un réseau complexe sous influence externe

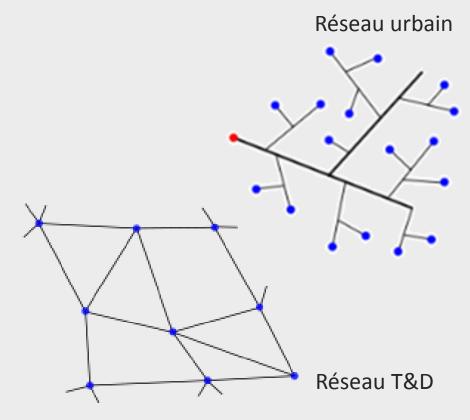
- I. Un réseau complexe
- II. Influence externe
- III. Gestion des données

Propriétés structurelles des Smart Grids et impact de l'environnement

# I. Le réseau électrique

La congestion revient à 7-10% de la facture totale annuelle depuis 2002

- » Le réseau est complexe, ses différentes parties possèdent leur propre structure
- » La distance géographique n'est pas proportionnelle au coût de la ligne électrique. Une distance en fonction des caractéristiques des lignes offre une vision plus fine du réseau
- » L'approche prétopologique permet de mettre en relief les défauts et les zones à risque du réseau électrique



### I. Percolation et gestion de la congestion

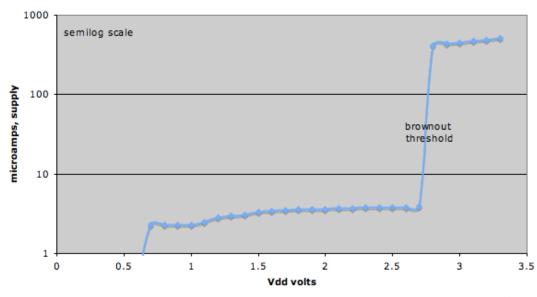
**Congestion** : les **capacités physiques** de transit sur certaines lignes sont atteintes

Brownout : baisse de tension volontaire dans une partie du réseau pour éviter les

problèmes de congestion

Blackout : coupure d'électricité à large échelle

La percolation est un *processus physique critique* qui décrit pour un système, une transition d'un état vers un autre



Si 4% des super-nœuds sont perturbés, alors le système global perd 60% de sa performance.

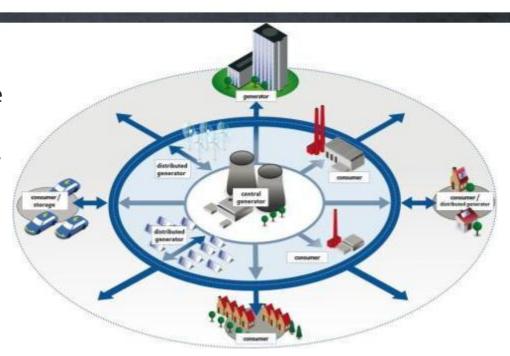
### I. Niveaux du Smart Grid

### Vision du Smart Grid:

- Approche à toute échelle du système
  3 niveaux locale, microgrid, T&D
- Découpage en fonction des objectifs, des actions et des interactions possibles.

### **Objectifs**:

- Théorie des réseaux de jeux pour optimiser le temps de calcul et garantir une solution locale
- Optimisation du réseau T&D, éviter le Brownout et Blackout.



### Rétroaction Top-Down et Bottom-up pour :

- Gestion des ressources
- Optimisation de l'offre et de la demande
- Gestion des flux énergétiques dans le réseau.

6% de perte sur le transport

10% de surproduction

### I. Réseaux de jeux et résolution globale

Résolution locale et gestion de la consommation :

- Système de réseau de jeux pour résoudre le système global d'un point de vue microgrid
- Les équilibres de Nash locaux peuvent varier en fonction des consensus entre joueurs
- L'équilibre de Nash global garanti la satisfaction de l'offre et de la demande.

75% de la consommation d'électricité nationale arrivent dans des bâtiments



Les avantages d'un réseau de jeux :

- Minimiser les coûts
- Satisfaire l'offre et la demande
- Equilibrer la demande-réponse pour la consommation future.

### II. Capteurs et équipements de gestion



Le réseau doit être capable de s'adapter en temps réel à la météorologie, aux utilisateurs et à tout problème structurel.

Des mécanismes génériques contrôlent le déroulement, la maintenance et l'évolution.

Les informations sur les phénomènes dans le monde physique peut être traitée, modelée, corrélée et exploitée.

Le potentiel d'économie d'énergie peut être similaire à une isolation externe

### III. Data mining et apprentissage

Le Smart Grid possède une politique de prévision avec approximation :

Table de données et modèle non-paramétrique

Pronostique sur la consommation future

Régulation de la courbe et stabilisation

- Estimation des consommations futures à partir des statistiques.
- Les pronostiques établis grâce à des schémas connus.
- 3. Courbe régulée de façon mathématique et dynamique.
- 4. Le système se base sur un report des charges et un système de priorités.

### III. Apprentissage en temps réel

### Les statistiques au cœur du système :

#### Passé Présent Statistiques antérieures **Futur** - Abonnement Statistiques et consommation réel - Schémas de Planification des consommation - Gestion bottom-up de schémas l'énergie - Régulation de la - Gestion de la - Synchronisation des courbe domotique données - Statistiques à toutes - Politique de lissage de - Jeux d'enchères et les échelles la courbe variabilité de l'équilibre - Mise à jour des pronostiques

- 1. La consommation instantanée est indéterminable.
- 2. La domotique possède des données de consommation connus .
- 3. Gestion des priorités de fonctionnement à l'échelle locale.

### III. Apprentissage continue

L'apprentissage aide à la gestion du système :



- Aide à la décision.
- 2. Utilisation ou modifications des schémas connus.
- 3. Calculs de cycle de consommation.
- 4. Ajustement des flux demande-réponse.
- 5. Optimisation des performances du système.

50% de la consommation des zones résidentielles peut être contrôler sans réduire le confort

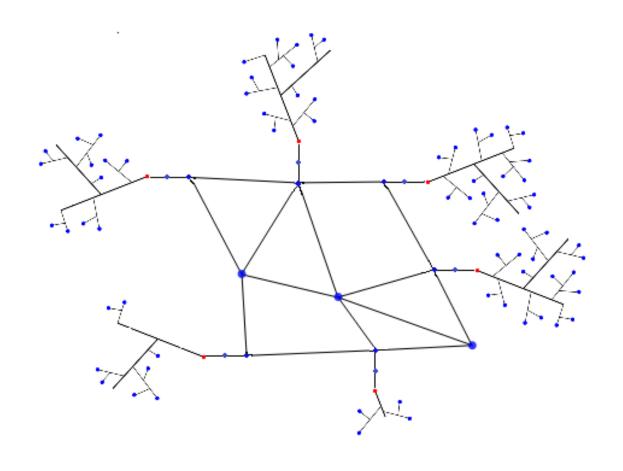


### **Smart Grid:** Toy Example

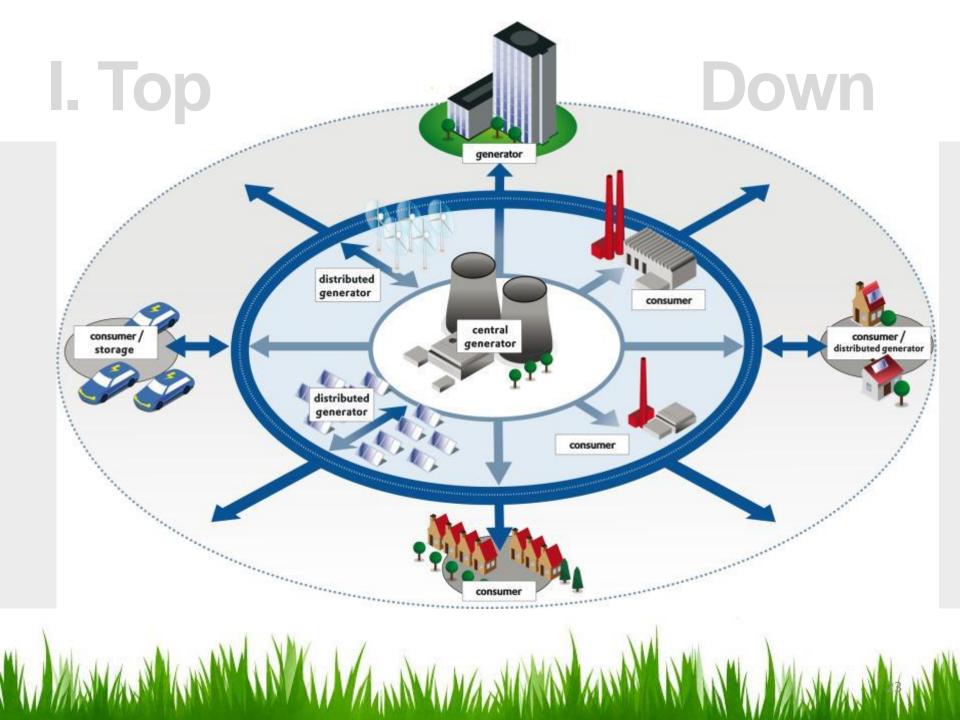
- I. Aperçu et bases de données
- II. Les trois niveaux

Algorithmes et bases de données du Toy Example

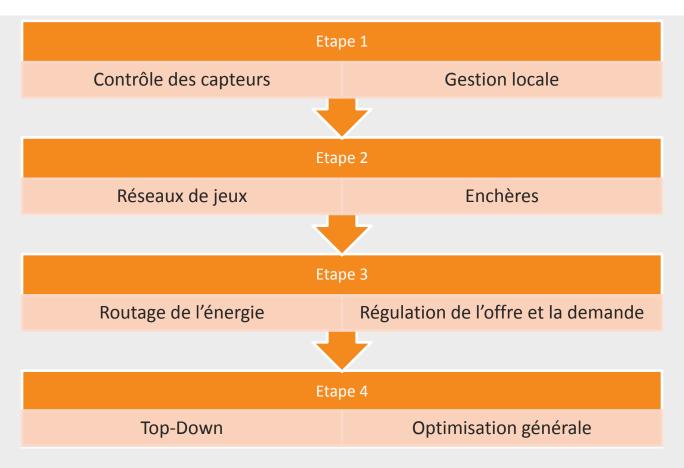
# I. Réseau électrique



Markey Wall Markey War and Markey Wa



# I. Les 4 étapes de gestion



### **II. Gestion Locale**



### Données:

- Pronostiques(i) dont Priorité(e, i)
- Energie consommée au temps i-1
- Energie reçue au temps i-1

### Algorithme d'attribution(i) à l'étape 1 :

- Attribution par défaut par les pronostiques
- Remplissage au coût minimal si consommation différente des pronostiques

### Algorithme d'attribution(i) à l'étape 4 :

- Remplissage au coût minimal
- Coût = Surplus\*Priorité
- Consensus entre les maisons du microgrid (ex : Sac-à-dos)

Algorithme recherche d'erreur à l'étape 4 : Si |Pronostiques(i)-Energie\_conso(i)| > ε

# **II. Gestion Microgrid**



#### Données:

- Topologie et Modification du réseau(i)
- Réseau de jeux(i-1), découpage du réseau microgrid au temps i-1
- Vecteurs de consommation du niveau local au temps i.

### Algorithme de màj des réseaux de jeux Etape 1 :

 Modification du découpage d'après les modifications du réseau et du voisinage.

### Algorithme d'enchères(i) Etape 2 et 4 :

- Pour chaque vecteur de consommation faire une enchère
- Minimum = consommation prioritaire (consommation obligatoire); Maximum = min(k\*energie fournie, consommation de tous les appareils).

### Algorithme d'équilibre de Nash(i) et Régulation(i) Etape 2 et 4 :

- Recherche un équilibre de Nash commun aux microgrids connexes
- Si impossible, trouver un coût minimum d'après les enchères effectuées.

#### Algorithme d'équilibrage Etape 4 :

- Si routage impossible, on effectue des nouvelles enchères
- Enchères demandant trop de consommation -> Enchères en sous-consommation.

# II. Gestion T&D



#### Données:

- Topologie et Modification du réseau(i)
- Prétopologie(i) des préférences utilisateurs et de prévention de la congestion
- Routage au temps i-1
- Consommation établie par les jeux.

### Algorithme de Préroutage(i) Etape 1:

- Recherche des plus courts chemins sur les nouvelles routes actives.

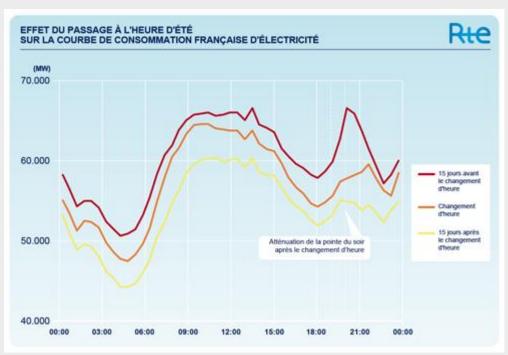
### Algorithme de màj du Routage(i) Etape 3 et 4:

- Màj du routage avec les nouvelles valeurs actives
- Contrôle des bottlenecks, brownout et sous-tension.

### Algorithme d'optimisation du Routage(i) Etape 3 et 4 :

- Effacement des problèmes de routage
- Recherche du coût minimum
- Choix des jeux non compatibles au routage.

# II. Gestion Statistique



### Données:

- Priorité(e, i) et connaissance de la domotique
- Algorithme pour la régulation de la courbe
- Statistiques.

### Algorithme de màj des Priorité(e, i+1):

 Mise-à-jour des priorités de fonctionnement en fonction de l'impact sur la courbe et le voisinage.

### Algorithme de màj des Pronostiques :

- Politique d'approximation avec modèle non paramétrique.

### Algorithme de màj de la Production :

- Optique de régulation de l'offre et la demande
- Calculs la Régulation de la courbe.

### **Conclusion**

### **Etat actuel:**

- Etat de l'art sur les Smart Grids (points de vue industriel, scientifique, commercial)
- Définition des théories appropriées pour la résolution des problèmes liés à la modélisation des Smart Grids
- Définition des différents modules et algorithmes à implémenter

### **Travaux futurs:**

- 1. Implémentation des algorithmes
- 2. Vérification de la résilience du réseau par la percolation
- 3. Implémentation de relation de proximité par la prétopologie

### **Publications:**

- ROADEF 2012, Approche système complexe pour la modélisation des Smart Grids
- KES 2012, A Complex System Approach for Smart Grid Analysis and Modeling
- Pré-accepté, Indersciences IJSCC, Survey on Smart Grid Modeling

