



Guillaume Guérard

Approche Système Complexe pour
L'Analyse et la Modélisation des
SMART GRIDS

Novembre 2012

Problématique

Sujet de thèse :

Optimisation dans les systèmes complexes.

Problématique :

Optimisation de la distribution de l'énergie dans un Smart Grid.

Gestion de la production, de la consommation et de la distribution d'une ressource commune.

Optimisation multicritères :

- Résilience
- Fiabilité du réseau
- Recherche de coût minimum (flots de ressources, production, consommation)
- Recherche de consensus dans une économie de marché.

Smart Grid



Approche système complexe pour la modélisation des Smart Grids



Le Smart Grid

- I. Point de vue industriel
- II. Point de vue scientifique

Les besoins et les attentes : évolution de l'Energy Grid

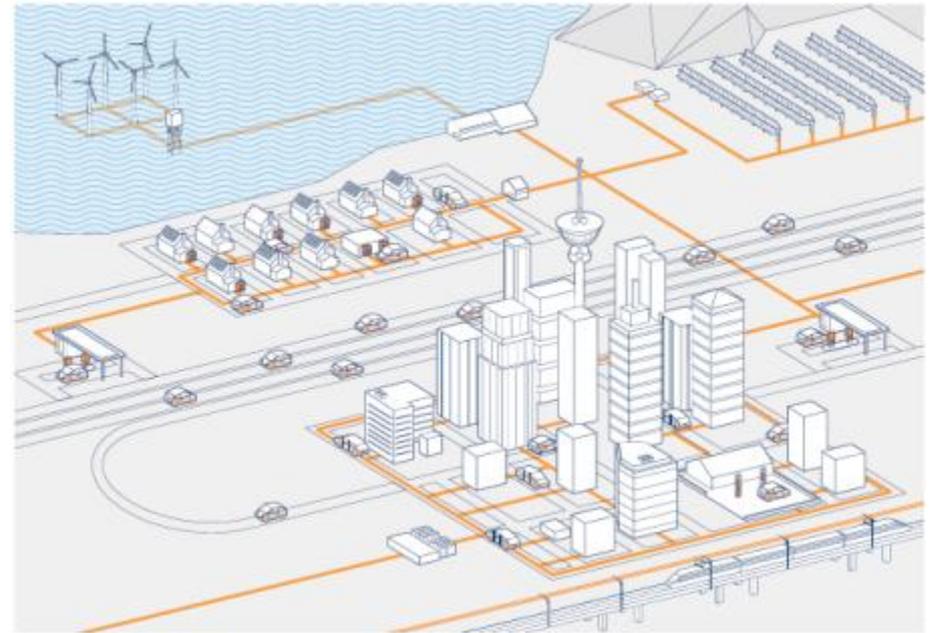
I. Objectifs industriels

L'Energy Grid actuel est basé sur la modélisation de Nikola Tesla de 1888.

Smart Grid : réseau électrique intégrant le **comportement** et les **actions** des utilisateurs.

Insuffisances de l'Energy Grid :

- **Structure** : intégration des EnR, conservation de l'énergie, gestion des appareils digitaux ou analogiques.
- **Consommation** : congestion et pertes sur le réseau T&D, rentabilité des centrales de proximité, latence du réseau.



Nouveaux rôles et objectifs :

- **Réguler** la courbe de consommation
- **Optimiser** l'offre et la demande
- Garantir une **qualité de service**

65% de l'énergie est utilisé dans des machines fonctionnant en permanence à plein régime.
Cette consommation peut être réduite de 60%.

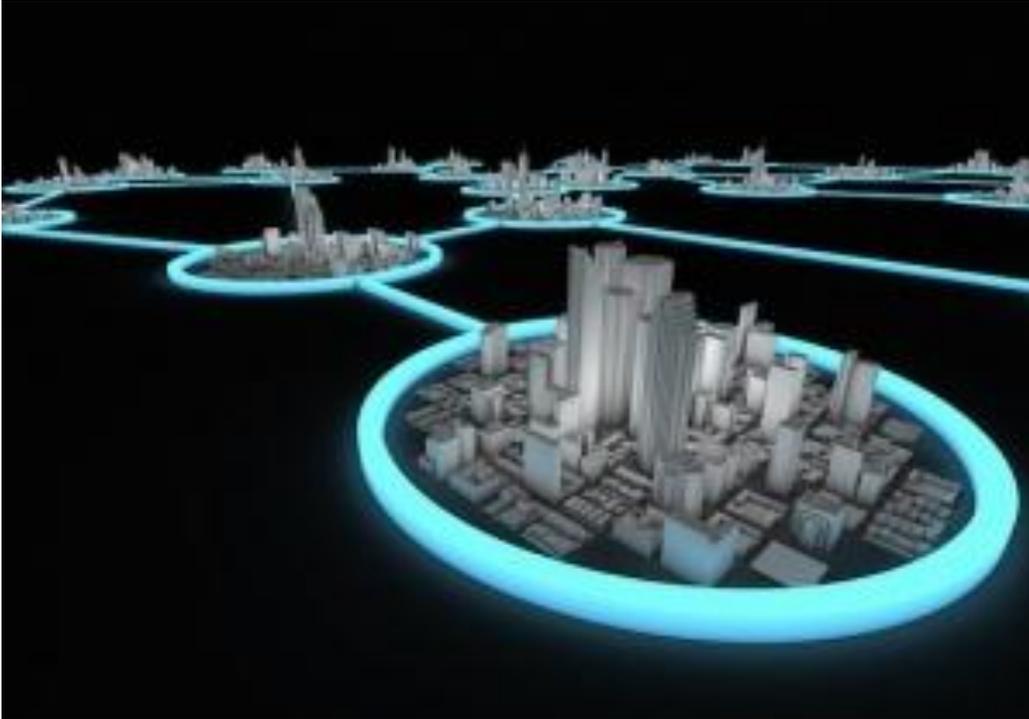
I. Consommation et bases de données



La consommation est **analysée** puis transformée en **statistiques** afin de prévoir la consommation future.

La consommation se fait en **temps réel**, tandis que la production doit être **planifiée**.

II. Caractéristiques du Smart Grid



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

- Self-Healing
- Flexibilité
- Prédicatif
- Interactif
- Optimal
- Sûr

En 2020, on prévoit 20% de consommation en moins grâce aux nouvelles technologies.

II. Simulations actuelles

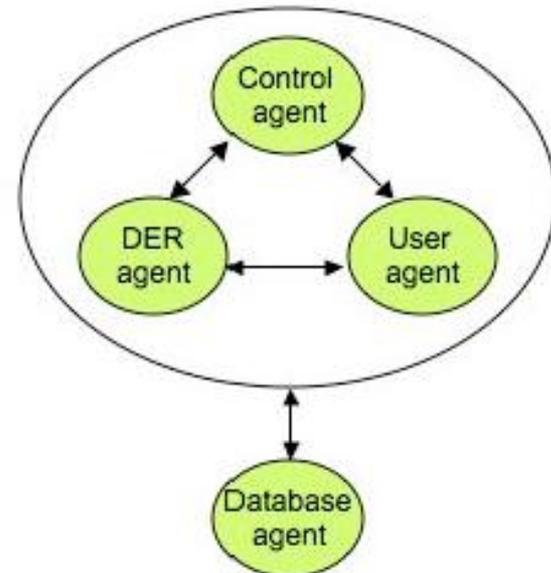
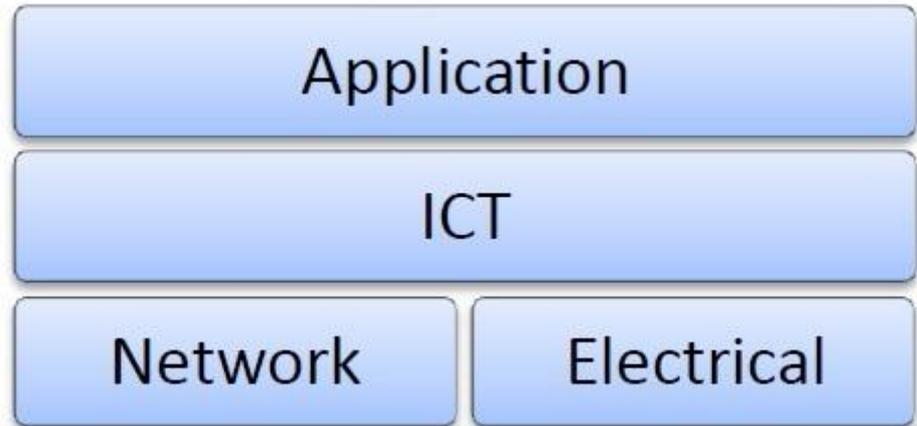
Les simulations actuelles (SMA) sont faites sur des **cas précis et spécifiques**, avec une **évolution limitée**.

Modèle général :

- Trois niveaux
- Quatre types d'agent

Inconvénients des simulations :

- Temps de calcul exponentiel
- Stockage de toutes les données
- Simulation spécialisée à l'étude d'un unique modèle.



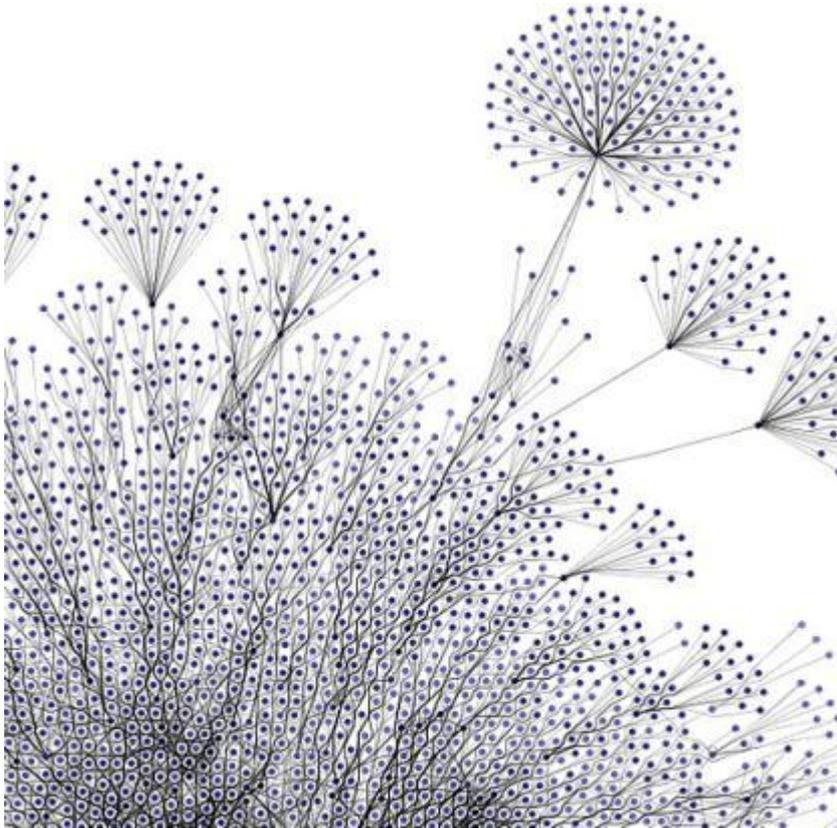


Smart Grid : un réseau complexe sous pressions

- I. Un réseau complexe
- II. Pressions internes
- III. Pressions externes

Propriétés structurels et impact de l'environnement

Introduction aux systèmes complexes



Un système complexe est composé d'**entités hétérogènes** en **interaction mutuelle**.

Le système **s'adapte** aux **pressions internes et externes** afin de maintenir ses fonctionnalités.

Le **comportement** et **l'évolution** ne sont **pas prédictible**. Le système ne peut pas être modélisé par un système d'équations.



Le système est plus « complexe » que la somme de ses sous-systèmes (**entropie**).

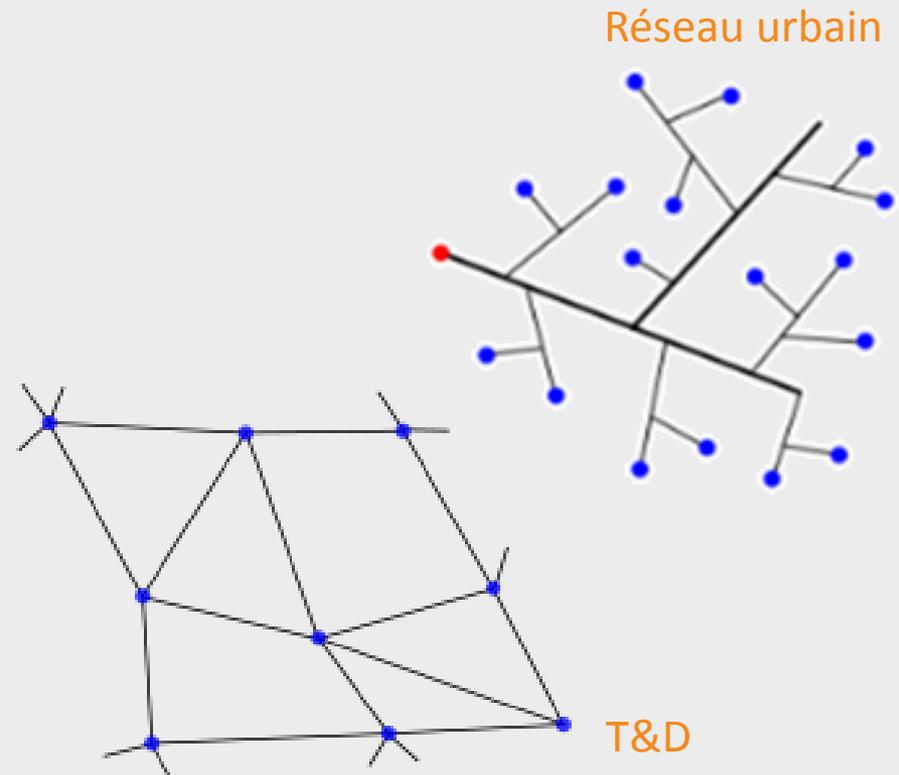
L'étude d'un phénomène requiert une **approche globale** et non localisé.

Expérience : nous définissons un nombre de loi d'évolution. Le système est simulé par itération des lois dans le but de comprendre leur impact dans le système global.

I. Réseau électrique

La congestion représente 7-10% des coûts totaux depuis 2002.

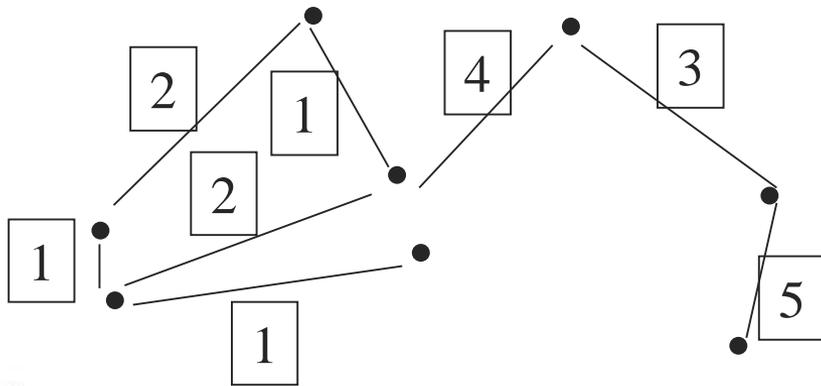
- » *Un réseau complexe présente différentes structures possédant leur propres propriétés et agents.*
- » Dans le réseau électrique, la distance géographique n'est pas proportionnelle au coût d'une ligne.
- » Une approche prétopologique garantit une vision plus fine du réseau et de ses contraintes sous-jacentes.



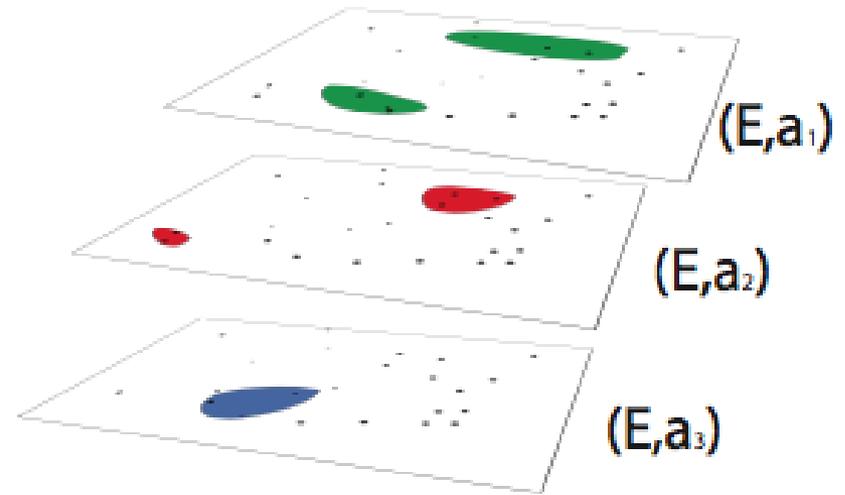
I. Topologie et Prétopologie

Théorie des graphes : Chaque arête est pondérée par une formule contenant **tout les paramètres**.

$$P(x,y)=a_1(x,y)+3*a_2(x,y)+\dots$$



Prétopologie : **Chaque paramètre** est représenté dans un espace prétopologique dédié.



I. Gestion de la congestion

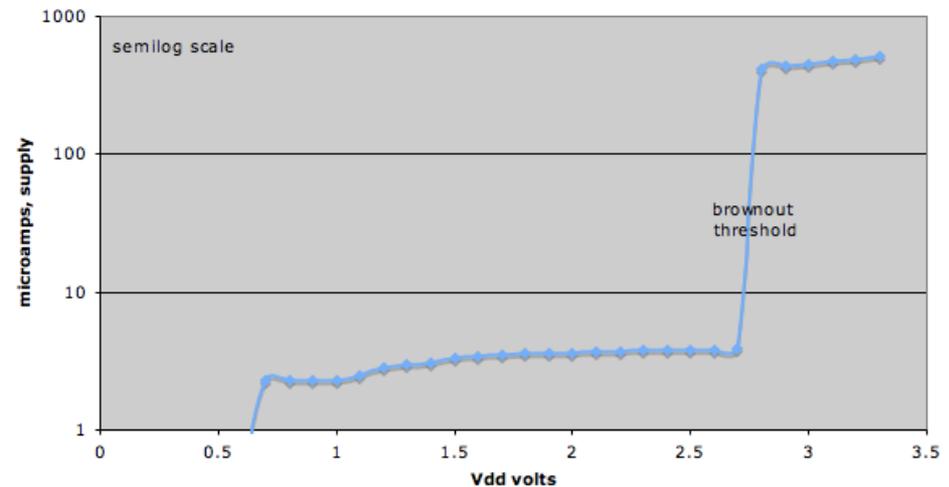
L'évolution d'un système complexe est très sensible aux petites perturbations. Ces dernières sont aussi la source de cette évolution. (G.M. Whitesides)

La percolation est un processus physique décrivant la transition d'un état à un autre dans un système critique.

Congestion : une ou plusieurs arêtes incapable de supporter le flux passant.

Brownout : baisse intentionnelle du flot passant dans le but d'éliminer une congestion trop importante.

Blackout : coupure structurelle instantanée des arêtes, ou des flots passant, dans une zone du réseau pour une période indéfinie.



Lorsque 4% des supernoeuds sont perturbés, le système globale perd 60% de ses performances.

I. Organisation du Smart Grid

Un système complexe est un système fortement structuré, c'est-à-dire possédant de nombreuses variations (L. Kadanoff).

Modélisation du Smart Grid :

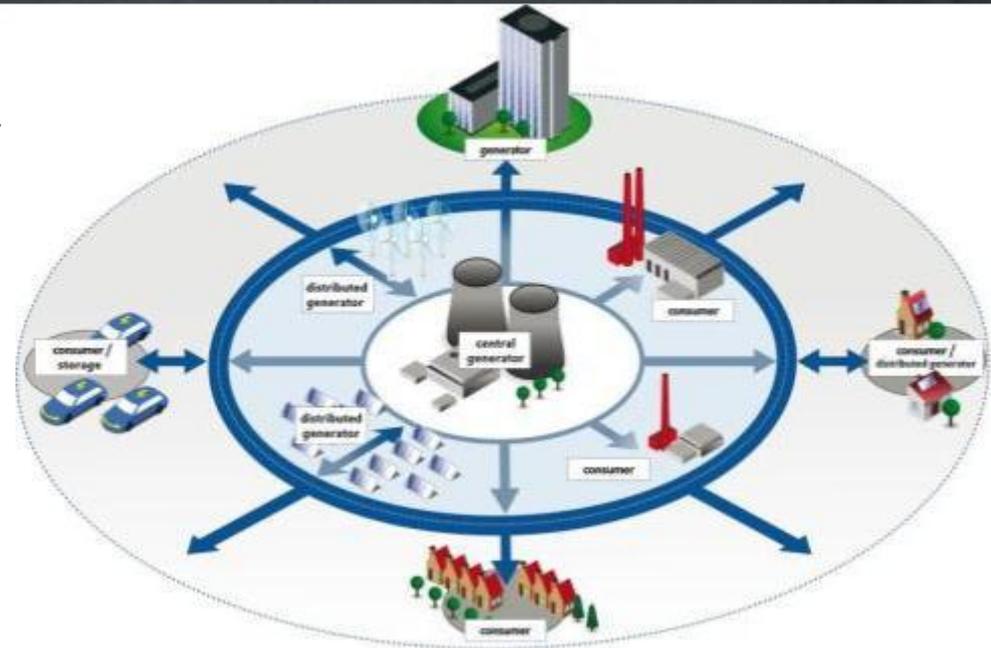
- 3 couches : local, microgrid, T&D
- Chaque couche représente des objectifs, des actions, des interactions et des agents communs.

Algorithmes principaux :

- Réseau de jeux et distribution d'une ressource commune. Optimisation de la consommation et de la production pour un équilibre global.
- Optimisation du réseau T&D par des algorithmes de routage multicritères.

6% de pertes durant la distribution de l'énergie.

10% de surproduction.



Rétroaction Bottom-up/Top-down :

- Gestion des ressources
- Optimisation de l'économie de marché
- Gestion des flux énergétiques

I. Réseau de jeux

Un système complexe possédant de multiples interactions entre de nombreux composants hétérogènes (D. Rind).

Principes :

- Le réseau est **normalisé** en réseau de jeux.
- Les **équilibres locaux** dépendent du consensus entre les joueurs dépendants les uns des autres.
- **L'équilibre de Nash global** garantit une solution réalisable dans tout le réseau.



Avantages :

- Temps de calcul linéaire
- Local/Global Nash equilibrium
- Utilisation de jeux contenant peu d'agents.

75% de la consommation nationale arrive dans les bâtiments.

II. Data Mining



Les processus évoluent constamment dans le temps (W. Brian Arthur).

Le réseau doit s'adapter **en temps réel** à la météorologie, aux actions et aux défauts structurels.

Des **mécanismes** contrôlent le développement, la maintenance et l'évolution du système.

Les **données** sont traitées, modelées, corrélées et utilisées à l'instant présent ou dans le futur.

Le gain potentiel énergétique peut être comparable à celui d'une isolation externe.

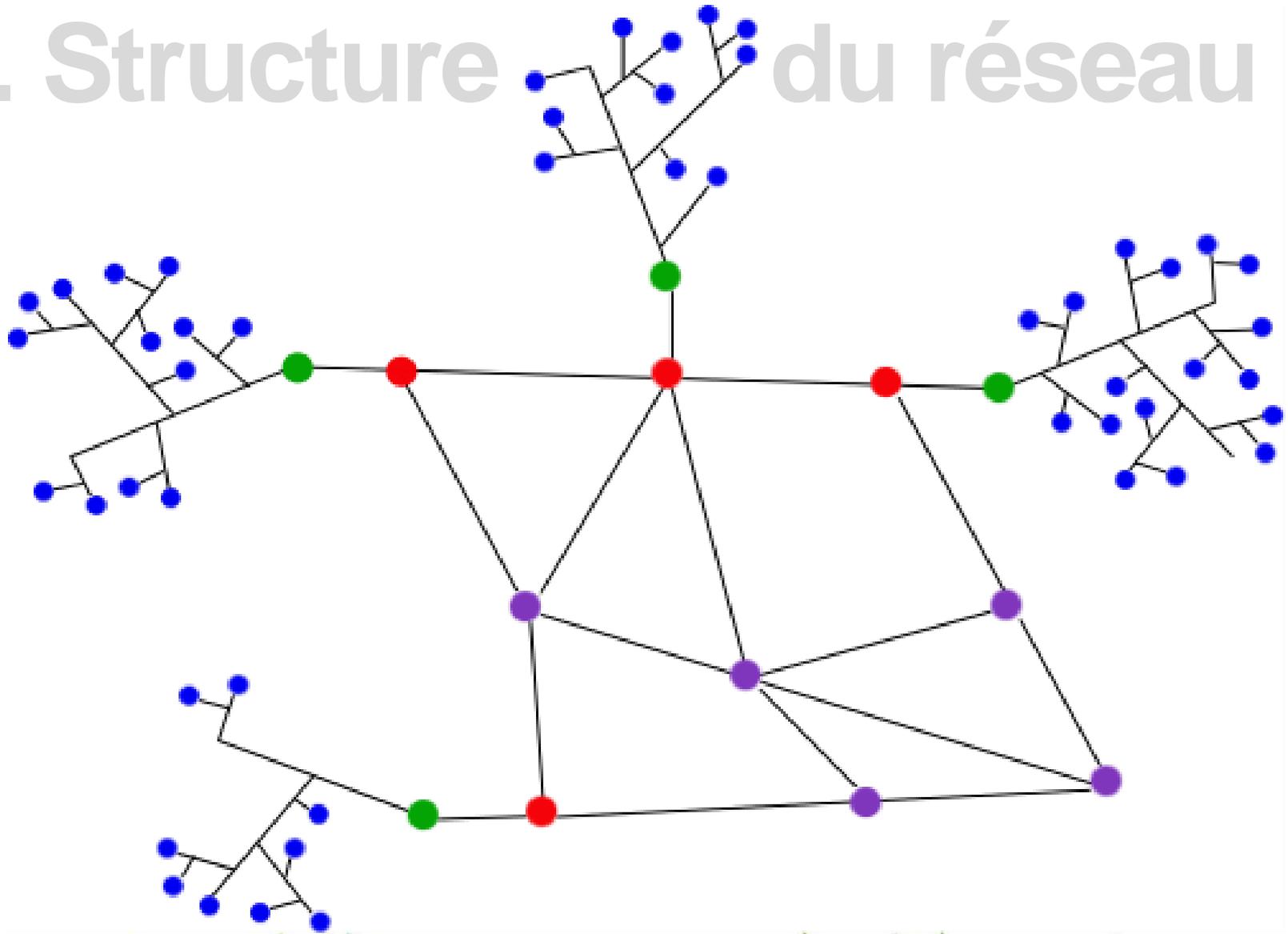


Modélisation

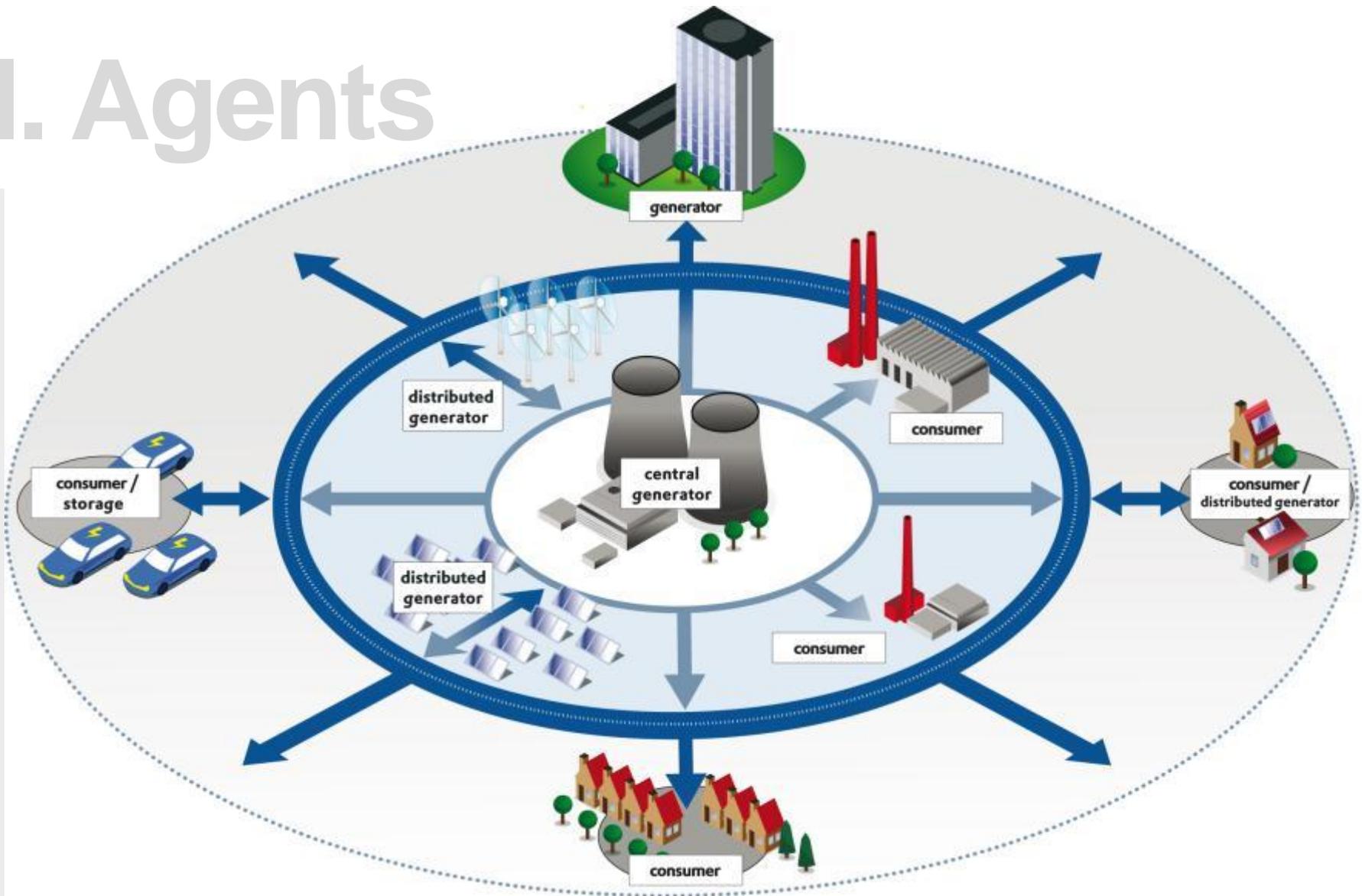
- I. Vue globale du modèle
- II. Algorithmes

Gestion au niveau local, microgrid et T&D

I. Structure du réseau

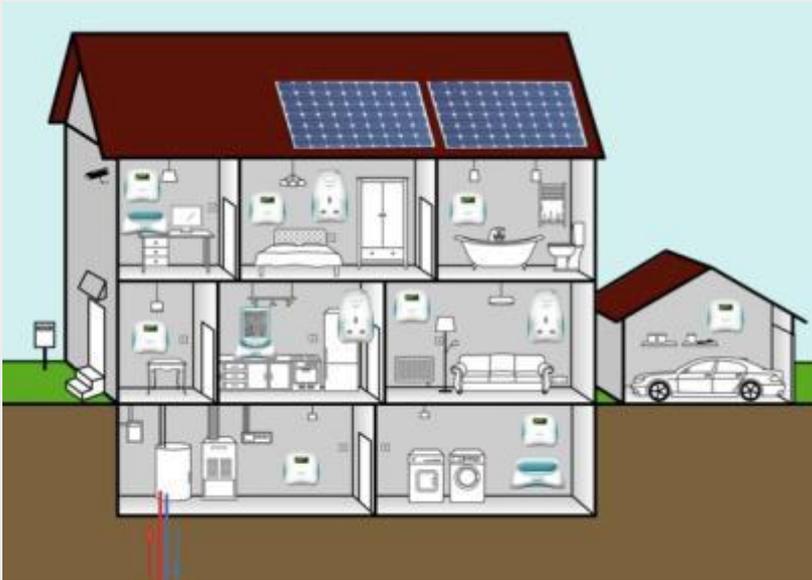


I. Agents



II. Niveau local

1. Les prédictions et la consommation sont comparées et corrélées afin de connaître la meilleure répartition de l'énergie local.



2. Des mécanismes de résolution assignent une priorité de fonctionnement à chaque appareil, permettant de pondérer ces derniers par un coût de consommation.

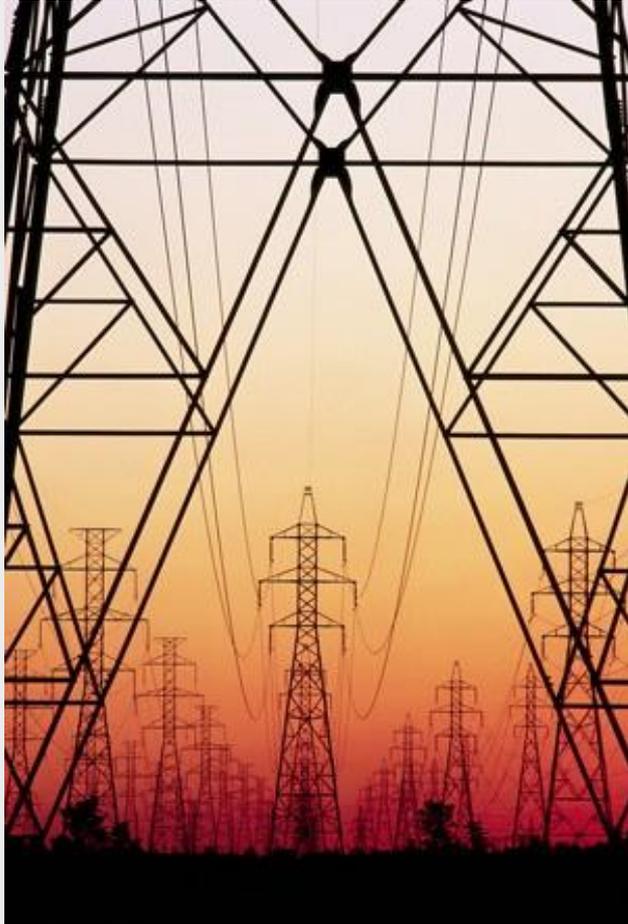
3. Une fois l'équilibre global atteint, l'énergie est attribuée à chaque niveau local. L'optimisation du coût et de l'énergie consommée permet d'éviter les pertes.

II. Microgrid



1. La normalisation du réseau offre une résolution rapide des jeux : attribution de l'énergie parmi les joueurs.
2. Chaque groupe de joueurs « réserve » une certaine quantité d'énergie. Les stratégies sont délimitées par les pronostiques, la consommation réelle et les coûts des appareils (local).
3. Une fois l'équilibre global atteint, l'énergie obtenue est redistribuée selon les stratégies des joueurs. Chaque joueur optimise l'utilisation de sa « commande » au niveau local et au niveau microgrid (système de répartition bottom-up).

II. T&D



1. Les flux montant et descendant sont régulés afin de suivre l'évolution du système. L'offre et la demande sont satisfaites au mieux.
2. En cas de congestion, de sur -ou sous- production ou consommation, les erreurs sont détectées et corrigées par rétroactions top-down entre les microgrids et le réseau T&D.
3. Une fois l'équilibre globale obtenu, les statistiques sont mises-à-jour.

Conclusion

Etat actuel :

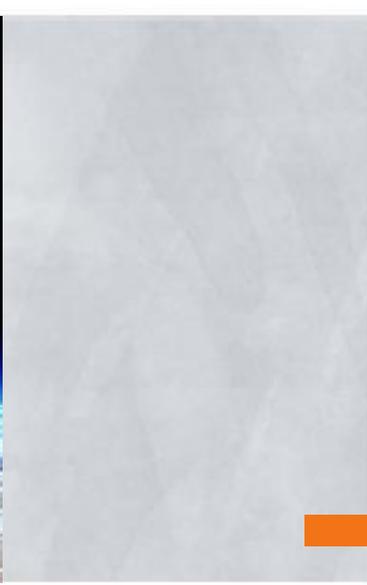
- Etat de l'art sur le concept de Smart Grid (industriel, scientifique, commercial)
- Définition des théories appropriées à la résolution des problèmes relatant de la modélisation d'un Smart Grid
- Définition des modules et des algorithmes à implémenter.

Travaux futurs :

1. Implémentation et simulation de Smart Grids
2. Module de contrôle de la résilience et de l'efficacité
3. Implémentation de la notion de voisinage par 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
- IJSCC, Vol. 4, No. 4, Survey on Smart Grid Modeling



Smart Grid

