



Guillaume Guérard

Gestion locale

# SMART GRIDS

Janvier 2014

# Smart Grid



Approche système complexe pour la modélisation des Smart Grids



# Définitions du Smart Grid

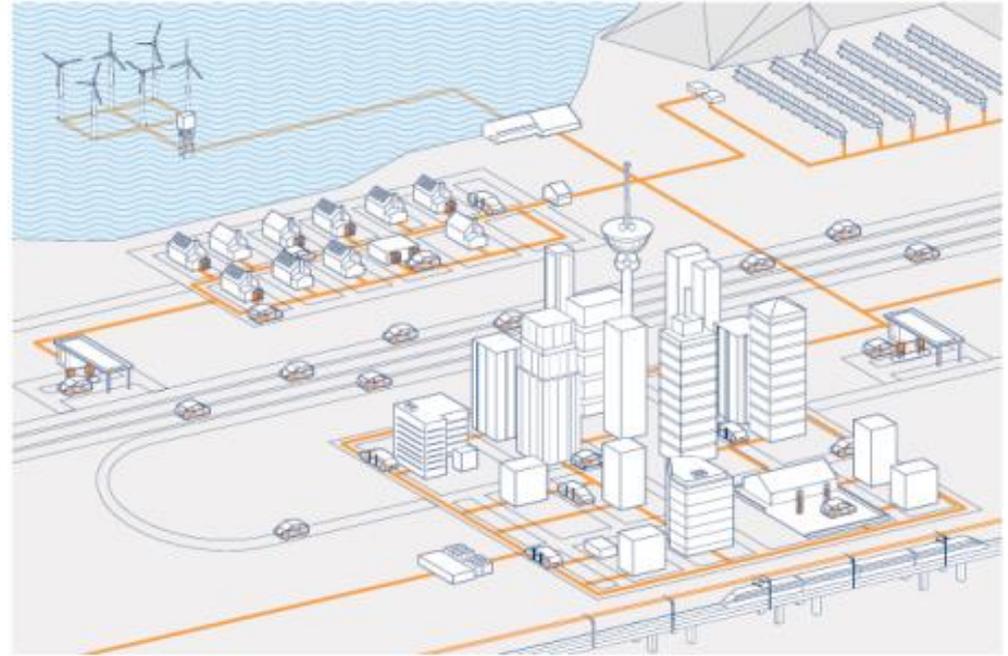
# Objectifs industriels

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

## 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.

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

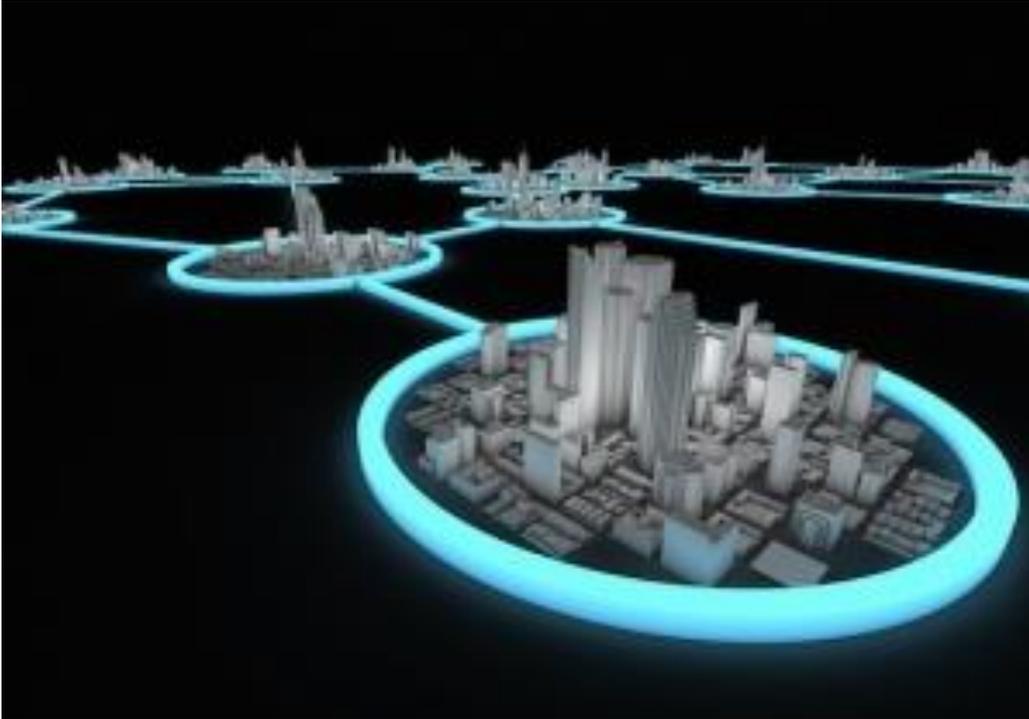


## Nouveaux rôles et objectifs :

- **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%.*

# 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.*

# Simulations actuelles

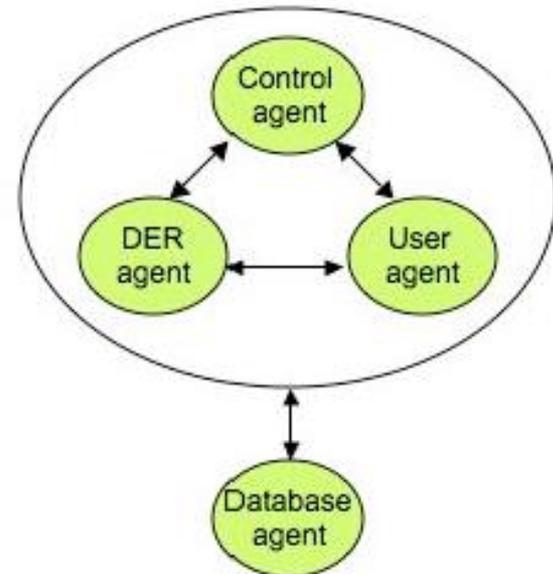
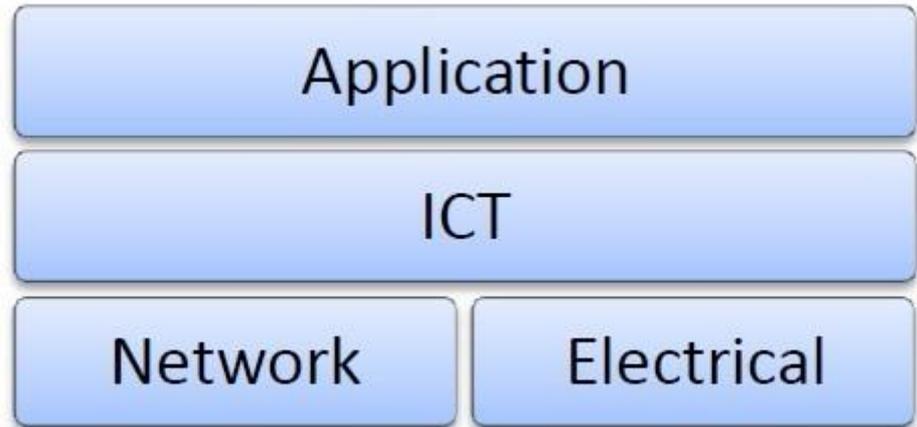
Les simulations actuelles (SMA) sont faites sur des **cas précis et spécifiques**, avec une **évolution limitée**.

## Modèle général :

- Trois niveaux
- Quatre types d'agent.

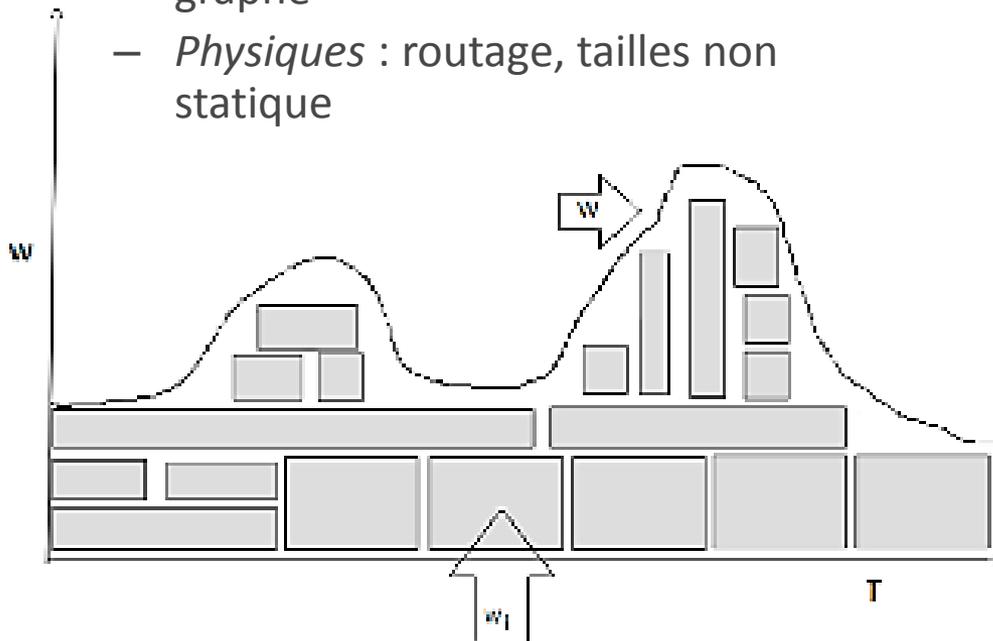
## Inconvénients des simulations :

- Temps de calcul exponentiel
- Stockage de toutes les données
- Simulation d'un unique type de modèle.



# Problème généralisé

- Problème de **sac-à-dos multidimensionnel** sous contraintes :
  - *Temporelles* : temps discret, production, consommation
  - *Spatiales* : granularité, hiérarchie du graphe
  - *Physiques* : routage, tailles non statique



Pour tout instant  $T$  :  
après un intervalle  $t$

$$\sum_{i=1}^n x_i w_i < W$$

$\begin{cases} x = 1 & \text{si la demande en énergie est satisfaite} \\ x = 0 & \text{sinon} \end{cases}$

- $w_i$  l'énergie demandée par  $i$  durant  $t$ .
- $W$  : production de l'échantillon durant  $t$ .

*Il est impossible de résoudre un tel problème de manière centralisée et séquentielle.*

# Problématique

- Il est difficile voir **impossible de trouver une fonction objective** résolvant le problème dans sa globalité.
- Le nombre de variables impliquées peuvent aller jusqu'à **des dizaines de milliers d'entités**.
- Optimiser un système complexe :
  - une classe **d'algorithmes d'optimisation appropriée** pour l'application au système.
  - les paramètres divers de l'algorithmes d'optimisation doivent **être accordé**.

*Kirkpatrick et al. (1983)*

*Grefenstette (1986)*

**Objectif** : *définir une méthode d'analyse permettant de fournir les outils nécessaires à la résolution d'un système complexe.*

# Analyse système complexe

Ne serait-ce pas plus avantageux et permissif de comprendre les fondements et le moteur du Smart Grid plutôt que d'imposer de nouvelles technologies locales et souvent incompatibles entre elles ?

## Equilibre global

Rétroaction

Objectifs  
globaux

## Optimisation des sous-composantes

### Optimisation

- Interaction
- Communication
- Normalisation

### Sous-composantes

Structure

Entités

Comportement

# Aide à la conception

La simulation est une aide à la conception d'un Smart Grid. Son bon fonctionnement ne dépend pas uniquement des algorithmes mais aussi des infrastructures et de la gestion de l'environnement.

- **Simulation**

- Représentation d'une, deux ou toutes les échelles présentées.
- Possibilité de divers scénarii : aléatoire, réel, projet.
- Possibilité d'inclure de nouvelles technologies.
- Visibilité des interactions machine-machine et environnement-machine.

- **Scenarii**

- Mise en place des algorithmes de self-healing.
- Ajustement des infrastructures, des règles de priorités, du découpage par niveau.
- Impact comportemental : humain, machine, environnement.



La simulation du Smart Grid permet de résoudre les problèmes en aval et d'ajuster les paramètres en fonction du comportement attendu.

# Systemes multi-agents

Le Smart Grid est composé de nombreuses entités hétérogènes en interaction.

## Agent :

Entité **cognitif** ou **réactif autonome** possédant des **critères**, **besoins**, **objectifs** et **interactions** propre à sa classe.

## Intelligence collective :

- **Coopération** : allocation des actions, planification, négociation, décision.
- **Interaction** : perception, croyances, langage.
- **Adaptation** : apprentissage, évolution, comportements locaux et globaux.

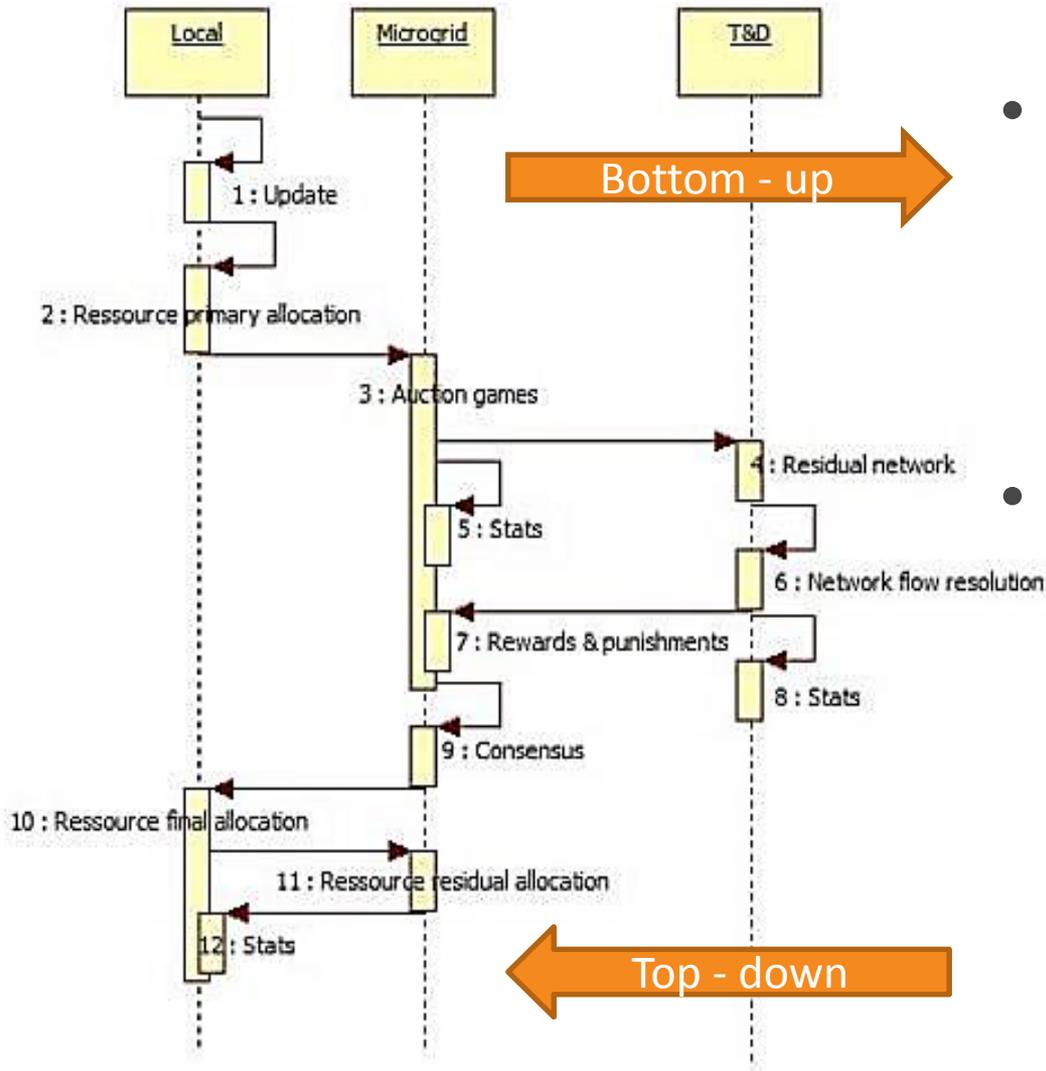


Pour une intelligence collective : de la machine pensante à l'organisation distribuée artificielle.



## Niveau local

# Schéma séquentiel d'une itération



- **Action bottom-up**

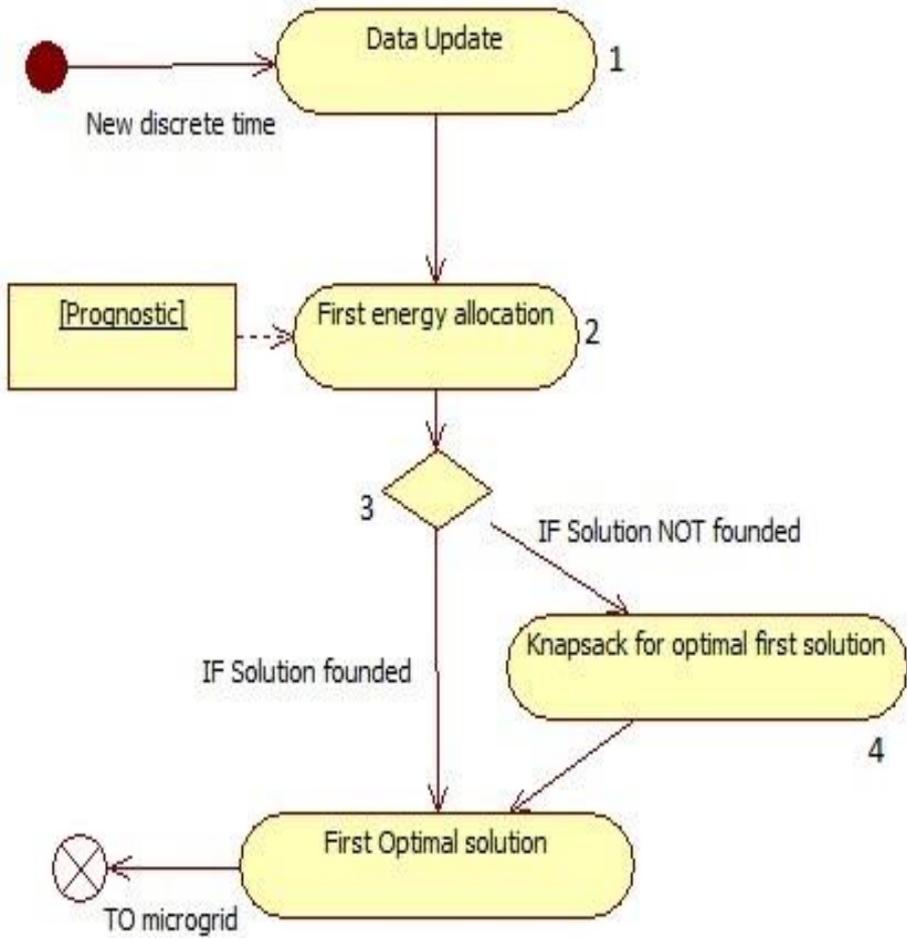
- Mise en place d'une solution initiale
- Si les pronostiques sont justes: solution finale.

- **Action top-down**

- Recherche d'une solution finale
- Distribution et calcul des pronostiques

# Niveau local

Résolution en temps discret ( $t=5\text{min}$ )



Update

- Mise-à-jour des données

Allocation de base

- Consommation / pronostiques

Allocation évoluée

- Si pronostiques=faux alors faire 4
- Sinon Solution finale
- Données vers microgrid

Solution évoluée

- Résolution par Sac-à-dos

# Niveau local

Gestion de la répartition énergétique au sein d'une zone organisée autour d'un Smart Meter.  
Priorité de fonctionnement pour gérer la domotique.

- **Normalisation**

- **Enlever** les appareils ( $n_e$ ) déjà consommateurs
- **Diviser** les consommations ( $e_i$ ) et l'énergie reçue  $K$  par le **pgcd**.

*Complexité :  $O(n_e * \log(e_{max}))$*

- **Sac-à-dos**

- Attribution de **l'utilité**
- Résolution par **programmation dynamique**.

*Complexité :  $O(n_e * K)$*

Complexité :  $K' * n_e * \log(e_{max}) < K * n_e$  avec  $K'$  le poids normalisé

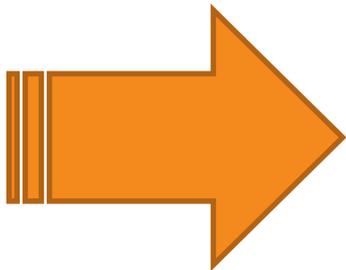
$\log(e_{max}) < K * x$  avec  $x \in ]\frac{1}{2}; 1]$ , toujours vrai.

Conclusion : si  $pgcd \geq 2$  alors le temps de calcul est réduit.

# Données de consommation

## Données usuelles

Appareil électrique	Puissance en Watts	Période d'utilisation	Fréquence d'utilisation	Consommation annuelle moyenne
---------------------	--------------------	-----------------------	-------------------------	-------------------------------



Transformation des données pour les algorithmes :

- **Appareil électrique** (Consommateur ou Producteur).
- **Consommation** : Puissance en Watts.
- **Priorité** : Période d'utilisation, Fréquence d'utilisation, Consommation annuelle moyenne, Appareil intelligent (consommation immédiate ou reportée).
- **Valeur** : description dans l'exemple.

- **Avantages**

- Résolution rapide.
- Solution optimale.
- Prise en compte de la domotique.
- Intégration de toutes technologies actuelles ou futures.

- **Inconvénients**

- Chaque appareil peut posséder une stratégie d'utilisation particulière.
- Gestion économique à instaurer au sein des fonctions d'évaluation des appareils.

# Avantages : globale

- **Optimalité**

- Utilisation de méthodes exactes de résolution.
- Recherche d'équilibre : Consensus global.
- Redistribution des ressources bottom-up.



- **Confidentialité**

- Pas de données ouvertes d'un niveau à l'autre.
- Echange de données normalisées.

# Conclusion

## • Autonomie

- Energie utilisée et gérée localement **en temps réel**.
- Recours minimum aux niveaux supérieurs.
- Flexibilité de **gestion** (capteurs, V2G, smart meter, etc.).

## • Optimisation

- Faible combinatoire / Calcul en temps réel.
- Méthodes **exactes**.
- Système **bottom-up** et **top-down**.
- Gestion du futur par pronostiques.

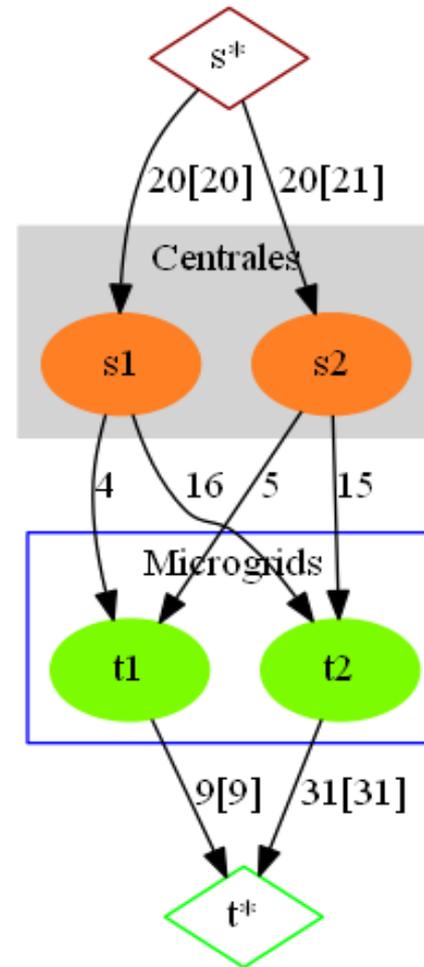
- Self-Healing : algorithmes de détection de fautes
- Flexibilité : gestion des priorités intelligentes
- Prédictif : pronostiques
- Interactif : humain-machine, machine-machine, environnement-machine
- Optimal : méthodes exactes, consensus
- Sûr : transfert minimaliste et crypté des données



**Exemple**

# Ancienne itération

- Exemple :
  - 2 centrales
  - 2 microgrids
  - 5 maisons
- Résultats / pronostiques :
  - *Maison1* : 4/4
  - *Maison2* : 5/7
  - *Maison3* : 17/12
  - *Maison4* : 4/9
  - *Maison5* : 10/6
  - *Centrale1* : 20/20
  - *Centrale2* : 21/20



# Mise à jour des consommations

Calcul de la valeur d'un appareil  $i$  dans une maison :

$$\text{valeur}_i = (\text{poids}_{\max} * \text{priorité}_{\max}) - (\text{poids}_i * \text{priorité}_i) + \text{poids}_i$$

Maison1	Maison2	Maison3	Maison4	Maison5
1/0/81	1/0/16	1/0	1/0/33	1/0
1/1/80	1/0/16	1/0	1/1/32	3/0
3/0/83	2/1/15	10/0	3/0/35	
5/2/75	3/0/18		3/2/29	
20/4/20	4/3/7		4/1/32	
	5/3/5		8/4/8	
Prévision : 4	Prévision: 6	Prévision: 12	Prévision: 8	Prévision: 6
Conso_moy : 5	Conso_moy: 7		Conso_moy: 9	
Impossible → KP	Impossible → KP	Prévision juste	Impossible → KP	Conso < Prévision
Conso_moy : 4	Conso_moy: 5	Conso_moy: 12	Conso_moy: 8	Conso_moy: 4

Poids/Priorité/Valeur, le résultat du KP (Sac-à-dos) est en rouge.  
 Consommation si la priorité est inférieur ou égale à 1.

# Enchères

Pour la loi normale :  $3\sigma = 10\%$  de la conso\_moy

- Microgrid1

- *Maison1* :  $\mathcal{N}(4; 0,4/3)$ ,  
enchère de **3,6**.  
**Conso\_min=4** donc  
enchère de **4**.
- *Maison2* :  $\mathcal{N}(5; 0,5/3)$ ,  
enchère de **7**.
  
- **Total : 11,**
- **Prévision : 10,**
- **Reçu *i-1* : 9.**

- Microgrid2

- *Maison3* :  $\mathcal{N}(12; 1,2/3)$ ,  
enchère de **13**.
- *Maison4* :  $\mathcal{N}(8; 0,8/3)$ ,  
enchère de **7,5**.
- *Maison5* :  $\mathcal{N}(4; 0,4/3)$ ,  
enchère de **4,5**.
  
- **Total : 25,**
- **Prévision : 26,**
- **Reçu *i-1* : 31.**

# Mise-à-jour du routage

## 1. Mise-à-jour du réseau :

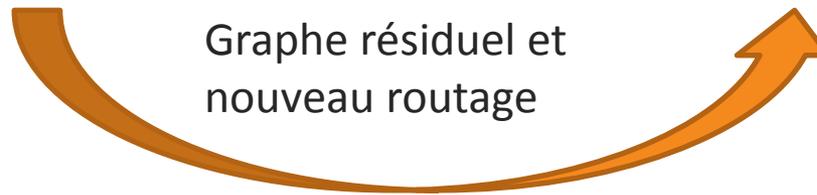
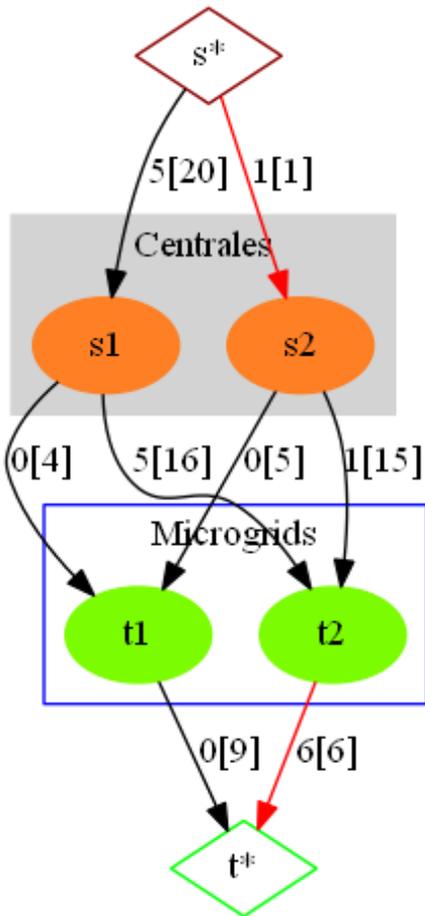
- Production
- Mise en place du graphe résiduel

## 2. Mise-à-jour du routage.

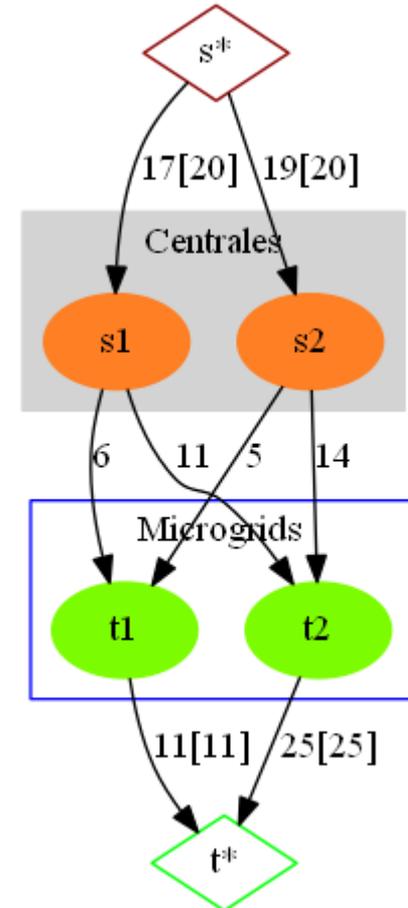
- 3. Flot max par Ford-Fulkerson.

## Mise-à-jour

- Centrale2 : production de **21 à 20**
- Microgrid2 : consommation de **31 à 25**

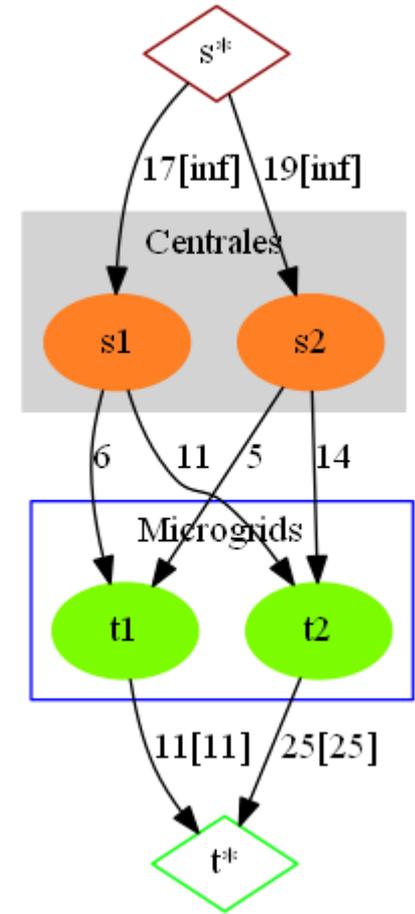
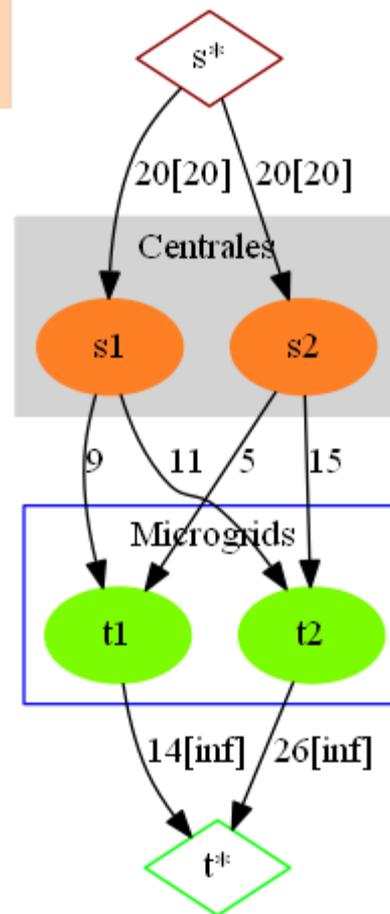
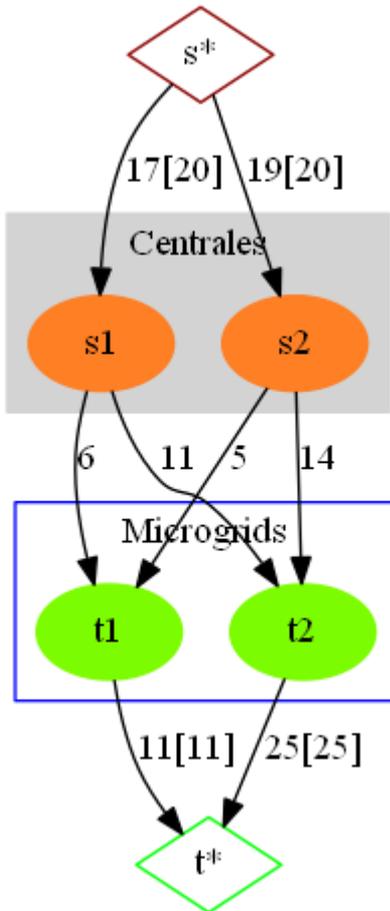


Graphe résiduel et nouveau routage



# Nouveau routage et rétroaction

4. Détection des goulots d'étranglement (production et consommation) et de la congestion.



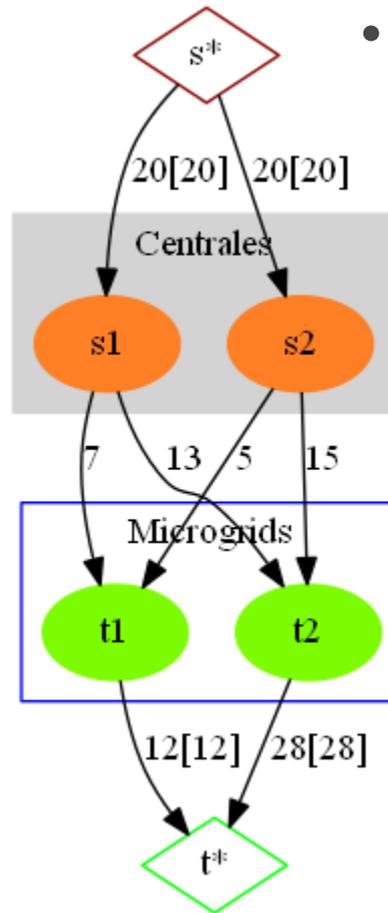
1. Nous récompensons les deux Microgrids.
2. Surproduction sur les deux centrales.

# Enchères finales

- Microgrid1

- *Maison1* : enchère de 4.
- *Maison2* : enchère de 8.

- **Total : 12,**
- **Prévision : 10,**
- **Reçu  $i-1$  : 9.**



- Microgrid2

- *Maison3* : enchère de 13.
- *Maison4* : enchère de 11.
- *Maison5* : enchère de 4.

- **Total : 28,**
- **Prévision : 26,**
- **Reçu  $i-1$  : 31.**

# Consommation finale

Maison1	Maison2	Maison3	Maison4	Maison5
1/0/81	1/0/16	1/0	1/0/33	1/0
1/1/80	1/0/16	1/0	1/1/32	3/0
3/0/83	2/1/15	10/0	3/0/35	
5/2/75	3/0/18		3/2/29	
20/4/20	4/3/7		4/1/32	
	5/3/5		8/4/8	
Reçu : 4	Reçu : 8	Reçu : 13	Reçu : 11	Reçu : 4
Consommé : 4	Consommé : 7	Consommé : 12	Consommé : 9	Consommé : 4
Reste : 0	Reste : 1	Reste : 1	Reste : 2	Reste : 0
<hr/> Microgrid1 reste : 1 Consommé : 1 Reste : 0			<hr/> Microgrid2 reste : 3 Consommé : 3 Reste : 0	

Poids/Priorité/Valeur, le résultat du KP local est en rouge, et du KP microgrid en vert.

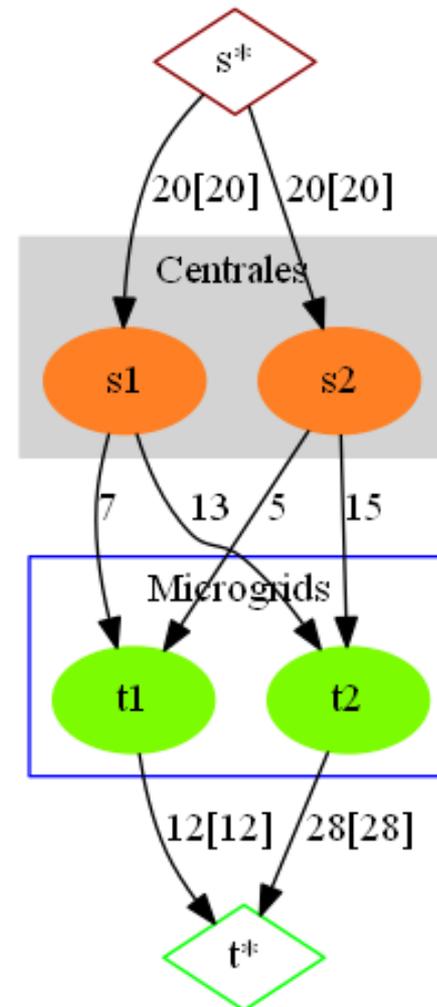
# Résultats de l'itération

- Exemple :

- 2 centrales
- 2 microgrids
- 5 maisons

- Résultats / pronostiques :

- Maison1 : 4/4+
- Maison2 : 7/7+
- Maison3 : 12/12-
- Maison4 : 12/12
- Maison5 : 4/4+
- Centrale1 : 20/20+
- Centrale 2 : 20/20+





# Smart Grid

